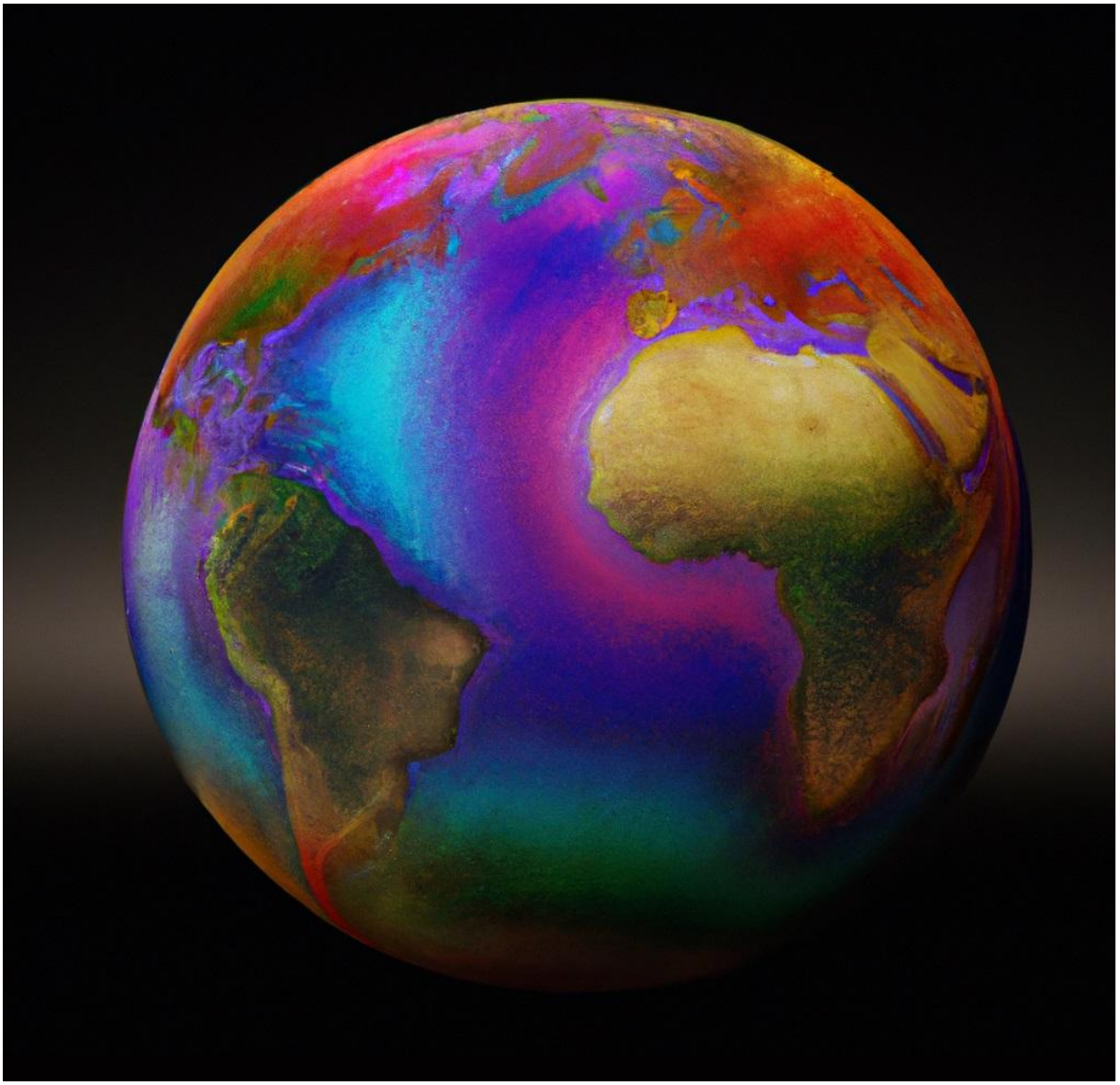
Alteraciones atmosféricas en el Círculo Polar Ártico

Proyecto de estudio del curso 2.º de Bachillerato de Investigación Excelencia del IES Andrés Laguna.



Autor: Arturo Francisco Barbero

Junta de Castilla y León

FacultaddeCiencias

Índice

1. GENERALIDADES 3
1.1 Título 3
1.2 Autor 3
1.3 Sector de la Investigación 3
1.4 Tutores de la Universidad de Valladolid 3
1.5 Tutor del IES Andrés Laguna 3
1.6 Emplazamientos 4
1.6.1 Obtención de los datos 4
1.6.2 Estudio de los mismos 4
2. INTRODUCCIÓN 5
2.1 Justificación 5
2.2 Contextualización 5
2.3 Marco teórico 6
2.3.1 Atmósfera 6
2.3.2 Aerosoles 9
2.3.3 Aerosoles atmosféricos 9
2.3.4 Espesor óptico de aerosoles 10
2.3.5 Exponente de Ångstrom 11
3. INSTRUMENTACIÓN 12
3.1 AERONET 12
3.2 CALIPSO 13
3.3 HYSPLIT 14
4. FINALIDAD 16
5. METODOLOGÍA 17
6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS 19
21 de agosto de 2021 19
9 de abril de 2022 26
7. CONCLUSIONES 34
8. BIBLIOGRAFÍA 35

1. GENERALIDADES

1.1 Título
Alteraciones atmosféricas en el Círculo Polar Ártico

1.2 Autor
Arturo Francisco Barbero

1.3 Sector de la Investigación
Departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica:
Grupo de Óptica Atmosférica (GOA-UVA).

1.4 Tutores de la Universidad de Valladolid
- Sara Herrero Anta
- Roberto Román

1.5 Tutor del IES Andrés Laguna
- Javier Díaz Carretero

1.6 Emplazamientos

1.6.1 Obtención de los datos

Ny-Ålesund (Nueva Alesund en castellano), Spitsbergen, Noruega.

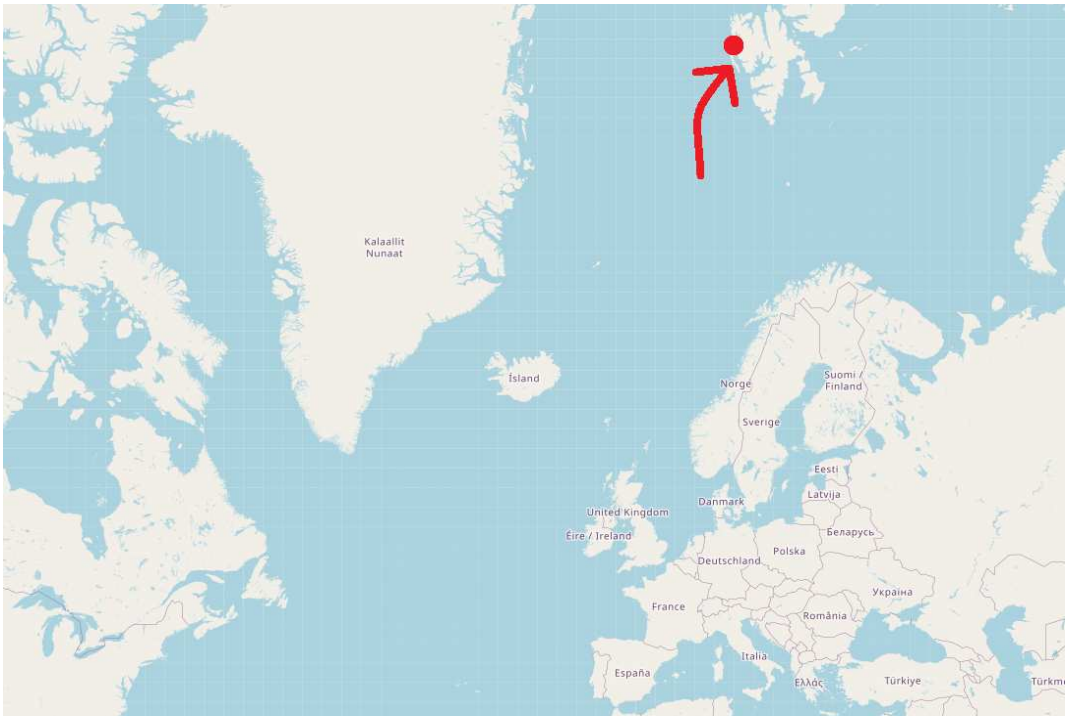


Figura 1
Ubicación de la estación de Ny-Ålesund.
Fuente: Openstreetmap.org Colaboradores de OpenStreetMap

1.6.2 Estudio de los datos

IES Andrés Laguna, ciudad de Segovia
Campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Justificación

El estudio que se presenta a continuación surge de la necesidad de la identificación y el análisis de las causas y características de los aumentos de la contaminación atmosférica en el Polo Norte causadas por la proliferación de distintos aerosoles más propios de las zonas urbanas.

2.2 Contextualización

A día de hoy resulta científicamente innegable la existencia de un *Cambio Climático* de origen antropogénico.

Existen organismos científicos como el IPCC[1] que examina y evalúa la bibliografía científica, técnica y socioeconómica más reciente que se produce en el mundo, pertinente para la comprensión del cambio climático tratando de prever posibles repercusiones, riesgos y sus posibilidades de atenuación y de adaptación al mismo.

Las causas y efectos del Cambio Climático, que se agravan según pasa el tiempo, son cada vez más visibles en el clima y sus repercusiones sentidas en el mundo natural son claros ejemplos: las altas temperaturas, las sequías e incremento en el número de incendios forestales, la falta de agua dulce, las inundaciones, la subida del nivel del mar y la reducción biodiversidad. Lo cual, sumado a problemas en la salud humana y su agricultura, la inestabilidad política, migraciones, falta de energía y diversos problemas causados al conjunto de la economía, convierten a este fenómeno en uno de los grandes retos de la sociedad en su conjunto en la actualidad.

El Ártico es especialmente sensible a este Cambio Climático. Debido a sus características (retroalimentaciones entre la capa de hielo y nieve, la cubierta nubosa, y las corrientes oceánicas) representa uno de los puntos críticos de actuación pues registra una tasa de calentamiento muy superior respecto a la media global.

Uno de los factores que genera mayor incertidumbre en la determinación de este Cambio Climático son los aerosoles, partículas sólidas o líquidas en suspensión en la atmósfera, pues son muy variables en el tiempo y localización, y tienen complejas interacciones aerosol-radiación y aerosol-nube. Es por ello que es importante realizar una monitorización de alta cobertura espacial y temporal, de forma que se puedan conocer las características y propiedades de los eventos de aerosoles de alta turbiedad.

[1] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Atmósfera

La investigación tiene lugar en la atmósfera de la Tierra que es una capa de gas que cubre la Tierra por intercesión de la gravedad.
Tiene origen hace aproximadamente 4.500 millones de años al formarse la Tierra la cual perdió gas al enfriarse. Con el tiempo han incorporado nuevas partículas como el vapor de agua, sal marina o azufre procedentes de la hidrosfera (conjunto de agua que se encuentra en la superficie terrestre o bajo está en su corteza). Volcanes y seres vivos han inyectado altas cantidades de O_2 y N_2 disminuyendo el porcentaje de CO_2, el cual está hoy al alza, desde el inicio de la Revolución Industrial.
La existencia de la atmósfera tiene consecuencias muy positivas para los seres vivos, como la protección de rayos solares excesivamente energéticos perjudiciales y la distribución de esta energía por toda la superficie o el mantenimiento de una temperatura relativamente constante en toda la superficie de la Tierra debido al balance radiativo del Sistema Sol-Atmósfera-Tierra. Sin olvidar que los gases que contiene son imprescindibles para la vida y el ciclo hidrológico, garantizando la posibilidad de encontrar agua en forma sólida, líquida y vaporosa.

Composición de la atmósfera

Compuesto	Porcentaje
N_2	78,08 %
O_2	20,95 %
Ar	0,93%
CO_2	0,04 %
CO	<0,01 %
CH_4	<0,01 %
H_2O	0,01-4%

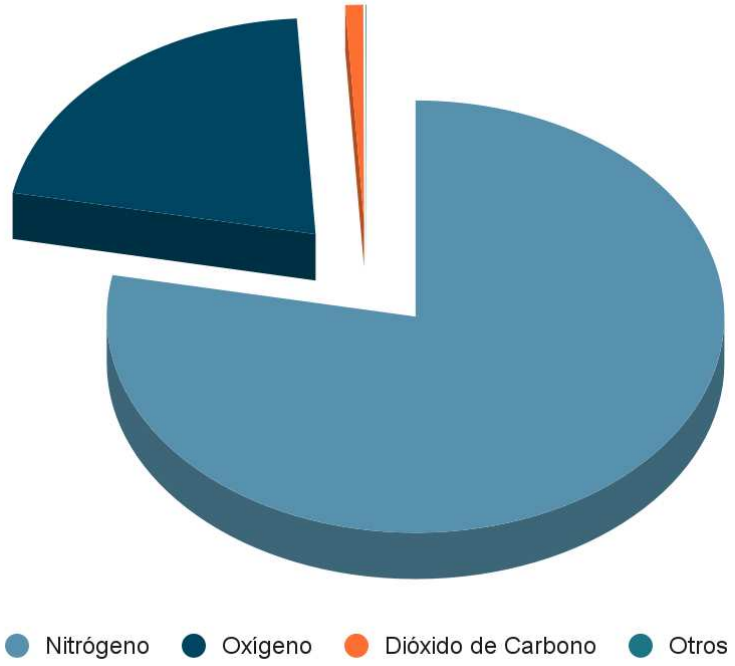


Figura 2
Composición de la atmósfera.

Capas de la atmósfera

Con una distancia 1000 km aproximados desde la superficie terrestre hasta el espacio exterior la atmósfera está dividida en cinco capas concéntricas delimitadas por cuatro espacios de transición.

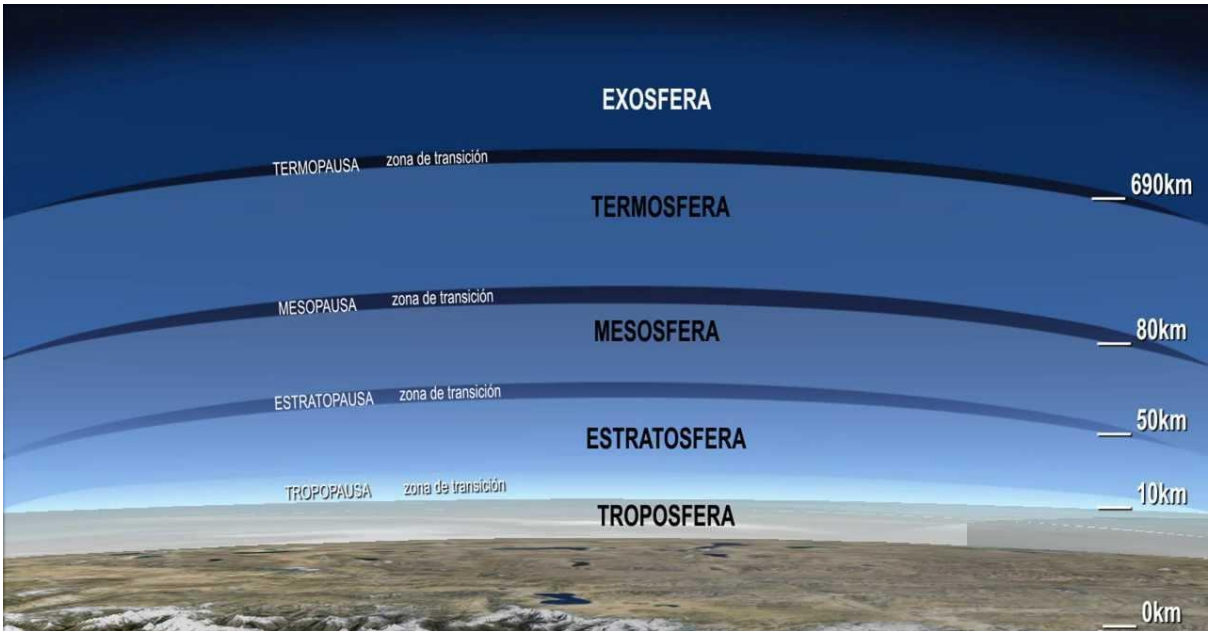


Figura 3
Atmósfera por capas y altitud.
Esteban1216. (2018, junio 12). File:Exosfera.Jpg. Wikimedia.org.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exosfera.jpg

- Troposfera: capa inmediata a la superficie de la Tierra hasta alrededor de 10 km, es la capa en la que tienen lugar los fenómenos meteorológicos. y es característica la disminución de temperatura y cantidad de oxígeno según se incrementa la altura.

- Tropopausa: delimita la troposfera con la estratosfera, la temperatura disminuye drásticamente al descender.

- Estratosfera: desde la tropopausa hasta los 50 km de altura. Destaca por contener la capa de ozono, vital para la vida en la Tierra al hacer de filtro de rayos peligrosos procedentes del sol.

- Estratopausa: delimita la estratosfera con la mesosfera, cuenta con una temperatura casi constante de 0°C.

- Estratosfera: desde la estratopausa hasta los 85 km de altura. Destaca por hacer de filtro de meteoritos que se transforman aquí en estrellas fugaces. Aquí tiene lugar ionización e importantes reacciones químicas. Temperaturas de un máximo de -80°C.

- Mesopausa: delimita la estratosfera con la termosfera, tiene la temperatura más baja de toda la atmósfera con menos de -80°C. Aquí es donde tienen lugar las reacciones de quimioluminiscencia.

- Termosfera o ionosfera: desde la mesopausa hasta los 690 km de altura. Cuenta con temperaturas de hasta unos 1.000 °C dada la absorción de radiación solar de onda corta como gamma o rayos X. Las moléculas de nitrógeno y de oxígeno, se transforman en iones positivos, liberando electrones. Se forma un campo magnético terrestre (termosfera positiva-superficie terrestre negativa). También se dan aquí las auroras boreales y las australes.

- Termopausa: delimita la mesosfera con la exosfera, aquí la temperatura se ve sometida a fuertes subidas.

- Exosfera: sin un límite exacto de aproximadamente 10 000 km, se sucede desde la termopausa hasta el espacio exterior. Es la capa menos densa y contiene partículas de plasma.

2.3.2 Aerosoles

Los aerosoles son las partículas sólidas o líquidas que se encuentran en suspensión en un medio gaseoso.

Los aerosoles participan en muy diferentes sucesos, algunos relacionados con la climatología, la combustión y la higiene, la virología o, como en el caso que nos atañe, la atmósfera, ya bien a través de su interacción con la radiación o su relación con el clima.

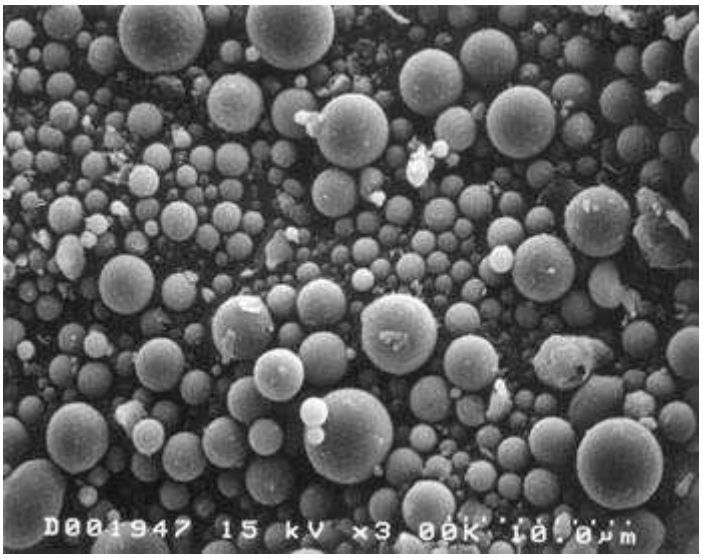


Figura 4

Partículas de cenizas en suspensión aérea con un aumento de x2000 con un microscopio electrónico de barrido.

Departamento de Transporte de los Estados Unidos - Administración Federal de Carreteras. (2006, julio 14). Fly Ash FHWA punto gov.jpg. Wikimedia.org. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fly_Ash_FHWA_dot_gov.jpg

2.3.3 Aerosoles atmosféricos

Los aerosoles presentes en la atmósfera tienen diferentes orígenes, como combustiones o movimientos del aire que arrastran polvo de desiertos o del mar.

Según sus características y las de sus procesos de eliminación pueden situarse en la troposfera desde apenas unos segundos hasta meses. Las principales maneras de su eliminación de la atmósfera son mediante la acción gravitatoria, la coagulación y la condensación con su posterior precipitación. Este último en caso de no producirse, puede prolongar la estancia de las partículas en la atmósfera.

Son muchas las características de los aerosoles que son objeto de estudio a la hora de determinar sus efectos en tanto a forma, tamaño o composición química. La distribución de tamaños, que nos da el número de partículas que tenemos en cada intervalo de tamaño, es la base para derivar propiedades ópticas de los aerosoles a través de la teoría de scattering. Las partículas en la atmósfera muestran tamaños que podemos delimitar desde unas milésimas

de micra hasta 100μm. Se suelen distinguir, por su tamaño y densidad numérica, tres modos en la distribución de tamaños de los aerosoles, llamados: modo de condensación (desde unos nm hasta 0,1 μm), modo de acumulación (entre 0,1 y 1-2 μm) y modo grueso (desde 1 a 100 μm) Los aerosoles atmosféricos pueden ser medidos y estudiados mediante varios métodos. Se pueden tomar muestras a lo largo de la columna atmosférica y analizarlas en el laboratorio. Otra alternativa es usar instrumentación que nos permite analizarlas en el lugar de medida. Por otra parte, podemos extraer propiedades de los aerosoles a partir del efecto que la presencia del aerosol está provocando en la radiación solar que atraviesa la atmósfera y llega hasta la superficie. Este tipo de instrumentación es también el que hoy en día se embarca en los satélites artificiales para el estudio de la atmósfera y de la superficie terrestre.

A fin de controlar y reducir la incertidumbre del efecto que causan los aerosoles, se han venido desarrollando medidas de las propiedades de los aerosoles a nivel global, tanto a partir de medidas de superficie como aerotransportadas y desde satélite. Para ello se han desarrollado redes globales de fotómetros y se han llevado a cabo numerosas campañas de medida y caracterización de los aerosoles. Las medidas de satélite ofrecen una gran cobertura espacial mientras que las medidas de superficie ofrecen una mayor resolución temporal. Las campañas intensivas presentan la ventaja de poder realizar una evaluación más compleja y exhaustiva que en una estación ordinaria de medida al combinarse las medidas de diversos instrumentos. Son muy diversas las metodologías complementarias en cuanto su cobertura espacial, temporal e instrumental.

Los aerosoles atmosféricos juegan un papel fundamental en el clima terrestre, de manera directa por su interacción con la radiación que llega del Sol, e indirectamente por los cambios que producen sobre las propiedades microfísicas y ópticas de las nubes. La contribución de los aerosoles constituye una de las principales incertidumbres para los modelos climáticos. El efecto de los aerosoles sobre la radiación es diferente para cada región espectral y está íntimamente ligado a las características de los aerosoles. Una partícula en la atmósfera puede producir una discontinuidad en el índice de refracción con respecto al aire que la rodea y dispersar la luz en todas direcciones. Desde la Revolución Industrial se produce la emisión continua y creciente de gases y partículas que alteran la composición de la atmósfera. Estas partículas de origen antropogénico se añaden a los aerosoles de origen natural, y contribuyen al balance radiativo terrestre. Dependiendo de las propiedades de los aerosoles, del albedo de la superficie o de su interacción

con las nubes, esta contribución puede dar a lugar al calentamiento o enfriamiento de la atmósfera. Las distintas fuentes naturales y antropogénicas, así como los mecanismos atmosféricos de transporte y deposición, hacen que la distribución espacial y temporal de los aerosoles atmosféricos sea enormemente variable.

2.3.4 Espesor óptico de aerosoles

La presencia de aerosoles modifica la radiación procedente del Sol que recibimos en la superficie de la Tierra. Los componentes atmosféricos pueden ser estudiados mediante radiometría, basándose en comparar el espectro de radiación solar en la superficie de la Tierra con el extraterrestre (en la cima de la atmósfera).

El espesor óptico de aerosoles “AOD” por sus siglas en inglés, - aerosol optical death-, es el principal parámetro para estudiar las características de los aerosoles atmosféricos. Con sus valores y la teoría de Lorenz-Mie-Debye, se puede utilizar una gran variedad de algoritmos de inversión con los que averiguar el tamaño de los aerosoles.

2.3.5 Exponente de Ångstrom

A la hora de estudiar el AOD es clave su dependencia espectral, muy relacionada con el tamaño de las partículas del aerosol. Concretamente, hay que poner el foco en la relación entre el tamaño y la longitud de onda de la radiación incidente. El análisis de la forma espectral del espesor óptico de los aerosoles es clave en la clasificación de los aerosoles con estas medidas ópticas.

Con el objetivo de definir la forma espectral del espesor óptico de los distintos tipos de aerosoles, concretamente la dependencia con la longitud de onda, usamos el Exponente de Ångstrom, una expresión parametrizada propuesta por Ånders J. Angström en 1929.

$$\tau_a = \beta\lambda^{-\alpha}$$

donde λ corresponde a la longitud de onda (μm), alfa es el exponente de Ångstrom (tamaño de la partícula) y β es la constante del espesor óptico a 1 μm.

El parámetro α puede tomar valores entre 0 y 4. Un valor más bajo indica un tamaño mayor y viceversa. Se calculará este parámetro alfa en base a la información del AOD cambiando las longitudes de onda.

3. INSTRUMENTACIÓN

Para la realización de este proyecto se han utilizado datos y herramientas accesibles en diferentes páginas web, cada una de ellas con datos diferentes. Gracias a su combinación, ha sido posible realizar un análisis de los hechos explicados a continuación.

3.1 AERONET

AERONET es una red de fotómetros[2] coordinada por la NASA y creada en 1998 a fin de realizar medidas continuas de las propiedades ópticas de los aerosoles presentes en la atmósfera en distintos puntos del planeta. Esta información es usada además para validar datos procedentes de sensores de satélites en órbita.

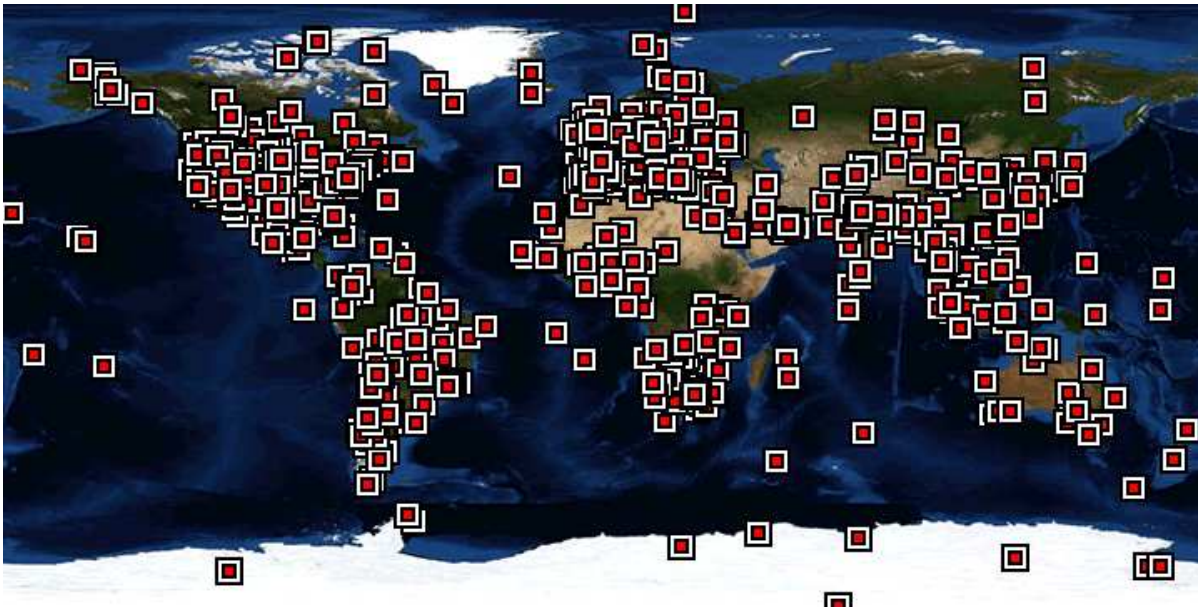


Figura 5
Distribución de las estaciones de AERONET sobre la Tierra.

Desde el año 2000 el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid (GOA-UVA) participa en la red. El fotómetro proporcionado por el grupo fue el primero de la red AERONET en la península, pionero para el seguimiento y caracterización rutinaria de los aerosoles atmosféricos.

Esta red internacional conforma hoy más de 500 estaciones coordinadas entre sí (Figura 5) mejorando cada día la precisión de sus medidas, empleando para ello fotómetros solares CIMEL CE318, instrumento estándar de. AERONET 4. El último fotómetro instalado en nuestro país, en la isla de

[2] AERONET: AErosol RObotic NETwork

La Palma, fue clave para el análisis de las emisiones de la erupción volcánica de Cumbre Vieja de 2021.

La caracterización de los datos en la columna atmosférica es muy precisa, midiendo el AOD en 0.34, 0.38, 0.44, 0.50, 0.67, 0.87 y 1.2 μm.
Mediante un algoritmo de inversión AERONET proporciona diversas propiedades de los aerosoles.

Los datos captados por AERONET se agrupan en tres niveles diferentes: 1, 1.5 y 2.

1. Datos de nivel 1: estos no han sido revisados ni filtrados;
2. Datos de nivel 1.5: donde se produce un filtrado de datos con nubes;
3. Datos de nivel 2: realizando un filtrado de nubes y un control de calidad además de aplicarse una calibración.

Los datos procedentes de Nueva Alesund provienen del fotómetro solar CIMEL CE318 mostrado en la Figura 6, este instrumento está diseñado para la medida autónoma y automática de la radiación solar directa y de cielo.
Cada 15 minutos y de manera autónoma se toman las medidas de irradiancia solar directa. A través de estas medidas directas se extrae el espesor óptico de los aerosoles y el vapor de agua precipitable.

Figura 6
Fotómetro solar CIMEL CE318 instalado en Nueva Alesund.
Aeronet. Fotómetro de Nueva Alesund. aeronet.gsfc.nasa.gov
https://aeronet.gsfc.nasa.gov/newsitephotos/nyawi1.jpg https://aeronet.gsfc.nasa.gov/newsitephotos/nyawi2.jpg

3.2 CALIPSO

CALIPSO (https://www.nasa.gov/mission_pages/calipso/) por sus siglas en inglés *Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations*, que

en castellano se traduce por “Observaciones exploratorias por satélite de nubes y aerosoles en el infrarrojo y mediante LiDAR[3]”.
Es un satélite artificial (Figura 7) operado por la NASA y su homólogo francés el CNES que está dedicado a la realización de observaciones de alta resolución de los aerosoles presentes en la atmósfera superior usando un telescopio incorporado de 1 metro de diámetro que mediante un LiDAR. Este manda un haz láser que al interaccionar con las partículas atmosféricas, consigue recibir de vuelta información sobre dónde se encuentran situadas estas las capas de aerosoles o si hay nubes entre otras cosas.

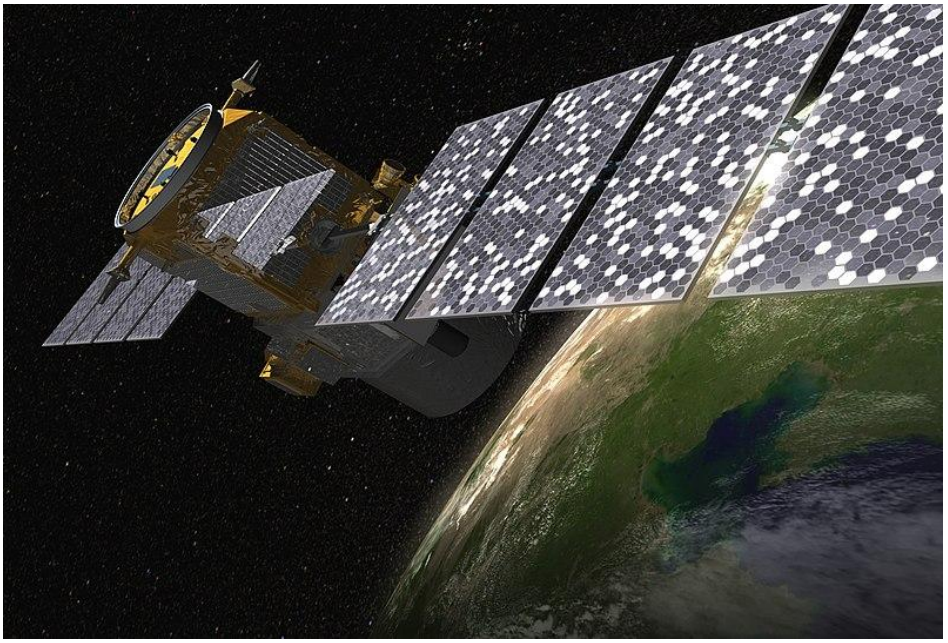


Figura 7
Recreación artística del satélite CALIPSO.
Meaney, C., & NASA. (s/f). File:CALIPSO - artist concept 3.Jpg. Wikimedia.org. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CALIPSO_-_Artist_Concept_3.jpg

3.3 HYSPLIT

HYSPLIT (https://www.arl.noaa.gov/hysplit/) son las siglas en inglés de *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*, que significa en castellano “Trayectoria híbrida lagrangiana de una sola partícula integrada”.

Es un modelo de ordenador diseñado para calcular las trayectorias y retro-trayectorias de las masas de aire a fin de determinar la dirección en la que viajó o que viajará una masa que lleve contaminantes consigo.
HYSPLIT puede además calcular parámetros como la dispersión, la transformación química o la deposición de los contaminantes del aire.

[3]LiDAR: Laser Imaging Detection and Ranging, en castellano, Detección y Alcance de Imágenes Láser. Es un dispositivo que mediante el uso de un láser determina la distancia desde el emisor láser a un objeto o superficie.

Se puede usar HYSPLIT para estimar si la trayectoria de una masa de aire es progresiva o regresiva, lo cual resulta clave para interpretar un evento que puede afectar a la calidad del aire.
Con el análisis de trayectorias regresivas podremos determinar los orígenes, evolución y fuentes de los contaminantes, este análisis de trayectorias progresivas podrá ayudar a determinar la dispersión de los contaminantes.

Estos son algunos de los usos posibles:

- Predicciones de humo de incendios forestales en tiempo real;
- Polvo arrastrado por el viento;
- Fuentes estacionarias de emisiones antropogénicas (procedente de los seres humanos);
- Seguimiento y predicción de material radiactivo;
- …

3.4 WORLDVIEW

Worldview (https://worldview.earthdata.nasa.gov/) es una herramienta de la NASA que proporciona imágenes instantáneas en base a una selección de capas de las imágenes de satélites de la propia NASA. Existe una modalidad de superposición sobre las imágenes de eventos meteorológicos, fronteras políticas, infraestructuras o viales de transporte. Concretamente una función de rastreo de posibles incendios activos nos será útil para cotejar con los lugares de emisión de los aerosoles pudiendo ser su procedencia.

4. FINALIDAD

Este estudio tiene como finalidad el análisis de dos eventos de aerosoles registrados en Nueva Alesund (Noruega) y con repercusiones en el Círculo Polar Ártico. Se tiene por objetivo analizar un evento de aerosoles atmosféricos finos, que son más comunes y a poder ser otro de con partículas de mayor grosor.

Se evaluará la tipología del aerosol teniendo en cuenta características como su grosor y su composición, se realizará una estimación del lugar de emisión contrastando trayectorias de llegada hasta Nueva alesund a diferentes alturas, así como el trayecto geográfico que haya tenido lugar hasta llegar hasta la estación de medida. Finalmente se contrastará con informaciones de prensa de esa fecha que casen con lo pronosticado y se extraerán conclusiones.

5. METODOLOGÍA

El primer paso ha sido buscar potenciales eventos de aerosoles en AERONET. Gracias al visor de datos disponible en su página web de Synergy tool, se ha analizado la evolución temporal del indicador de AOD a 440 nm y del exponente de Ångstrom día a día durante los años 2020, 2021 y 2022, este último dato lo calibramos del nivel 1 predeterminado al 1.5 para una mayor precisión aún asumiendo que la información en los días a analizar se reduce considerablemente. He seleccionado la estación *Ny_Alesund_AWI*, a 7 msnm y emplazada en 78.923166° N, 11.923040° E.
La estación está ubicada en el asentamiento homónimo, la localidad civil ubicada más al norte que tiene población todo el año.

En esta estación varios meses y días intercalados no tienen datos por razones de mantenimiento o climatología adversa, esto sumado a la lejanía de la civilización y el continente ha determinado que el número de eventos sea muy escaso y los eventos aquí descritos no son fruto de una selección exhaustiva, más bien de lo que apuradamente más destacaba. Estos motivos son también los que han determinado que se extienda a tres años el radio de búsqueda y que no se ofrezca una tabla de eventos sino un análisis de dos de ellos.

Los valores de AOD a 440 nm utilizados para la elección de días se han cruzado con los valores del exponente de Ångstrom con valores más altos, indicativo de una mayor presencia de partículas finas en la columna atmosférica.

Con los días seleccionados anteriormente se ha realizado un análisis con los datos de CALIPSO. Introduciendo en esta página las fechas a analizar se obtienen diferentes imágenes del recorrido que ha realizado el satélite, con información sobre la naturaleza de estas y su altura en los días seleccionados.

A continuación se introducen los datos en HYSPLIT que, gracias a datos meteorológicos como pueden ser la dirección de viento, la humedad o la temperatura, determina la trayectoria seguida por la masa de aire que contiene el aerosol hasta la estación de Nueva Alesund con el día y hora de llegada.

Finalmente accedemos a la página de Worldview y tras seleccionar las capas de interés y activar la detección de potenciales incendios, una imagen nos mostrará las características en ese momento del lugar de origen de las partículas de los aerosoles de los eventos a analizar.

Si los datos son los suficientemente concluyentes buscaremos información en las hemerotecas de los medios de comunicación, para contrastar si efectivamente en el lugar y momentos señalados como emisores se produjo un evento de las características del pronosticado mediante el previo análisis.

6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Con el uso de las herramientas anteriormente mencionadas, se ha realizado el estudio de varios eventos que afectan al Polo Norte, en concreto de los que se han podido capturar datos de la estación ártica de Ny-Ålesund.
Aun existiendo más eventos que los explicados a continuación en este trabajo, estos solo son algunos que se pueden destacar:

21 de agosto de 2021

A continuación se exponen en las Figuras 8-10: AOD por meses de 2021, AOD por días de agosto de 2021 y AOD por horas del 9 de agosto de 2021 sucesivamente.

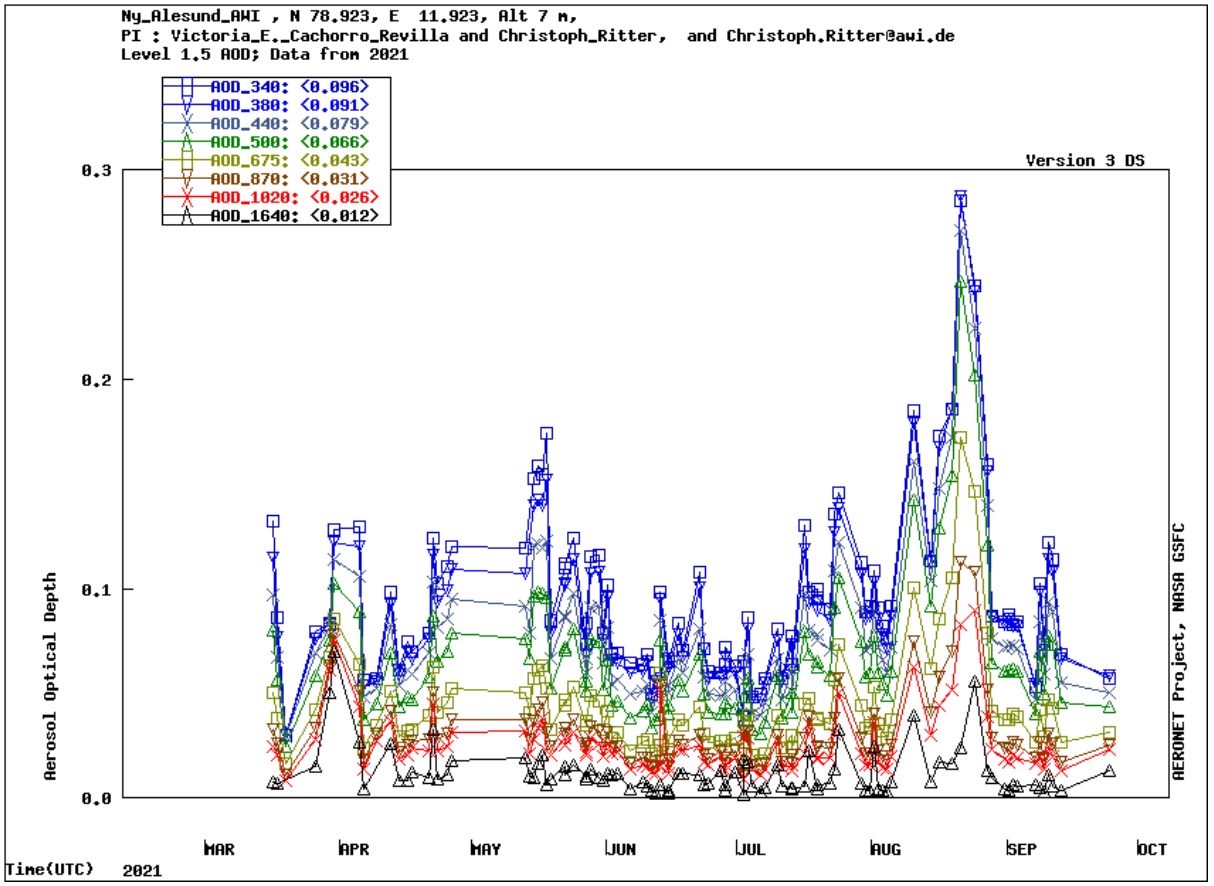


Figura 8
Evolución de los niveles de AOD en los meses de 2021.

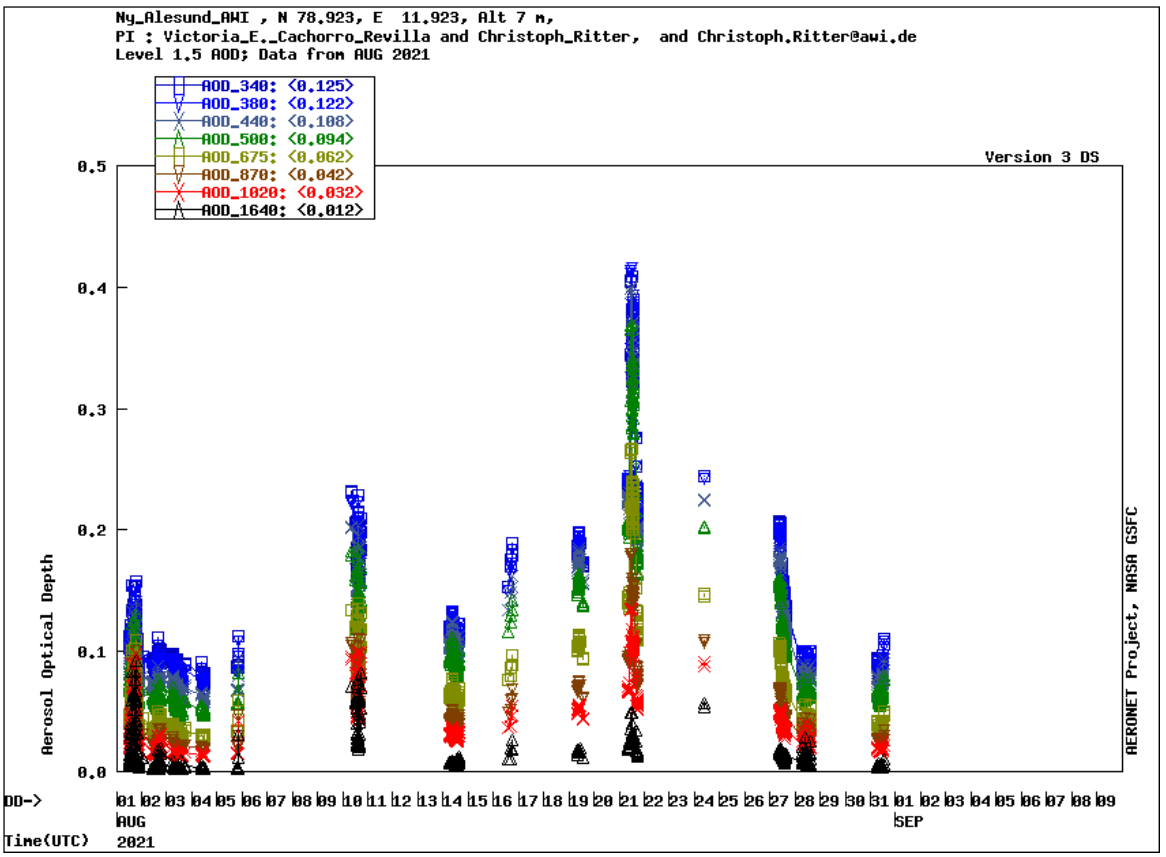


Figura 9
Evolución de los niveles de AOD por días de agosto de 2021.

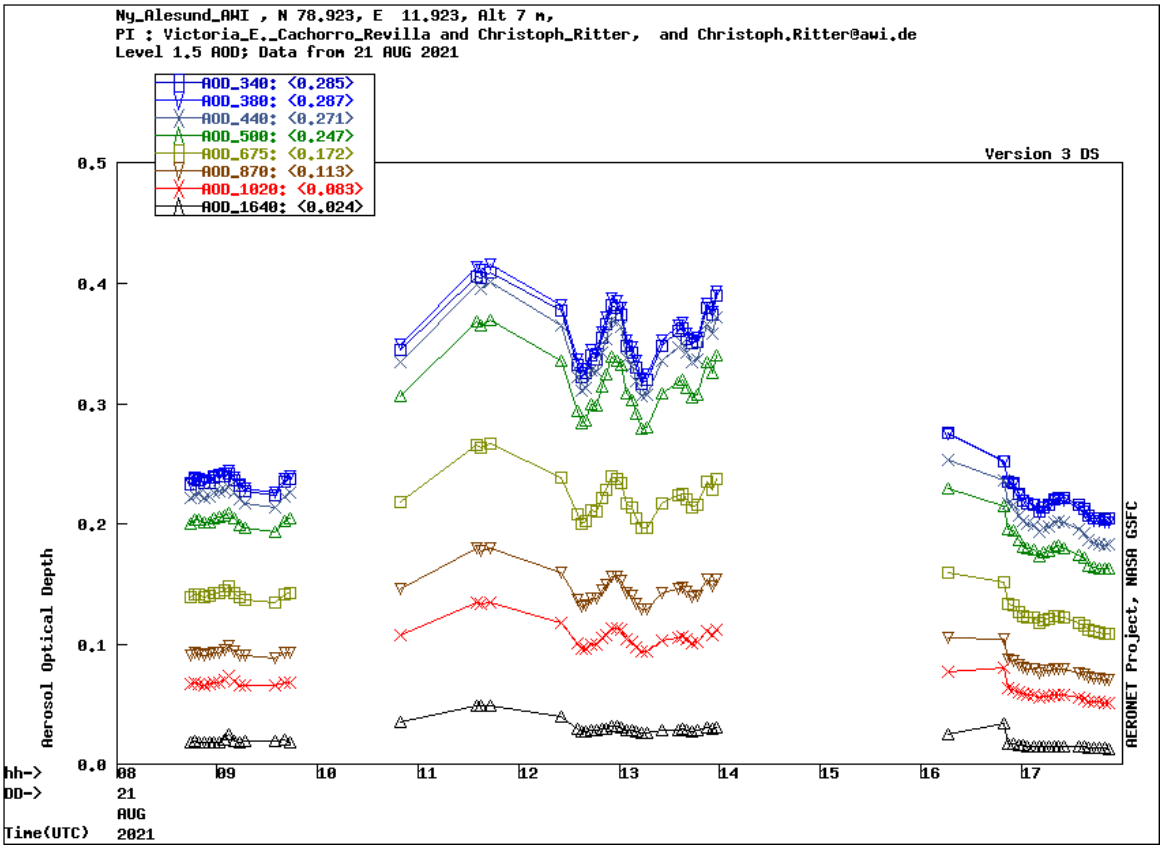


Figura 10
Evolución de los niveles de AOD por horas del día a analizar.

Los valores del día 21 alcanzan un valor medio de AOD a 440 nm de 0,271, por lo tanto este es el día del que se va a realizar el análisis debido a sus altos valores de AOD. El día previo y el siguiente no se pueden analizar ya que el día 20 solo tenemos información de muy pocas horas y el día 22 no tiene datos.

La siguiente Figura 11 muestra el exponente de Ångstrom del día a analizar.

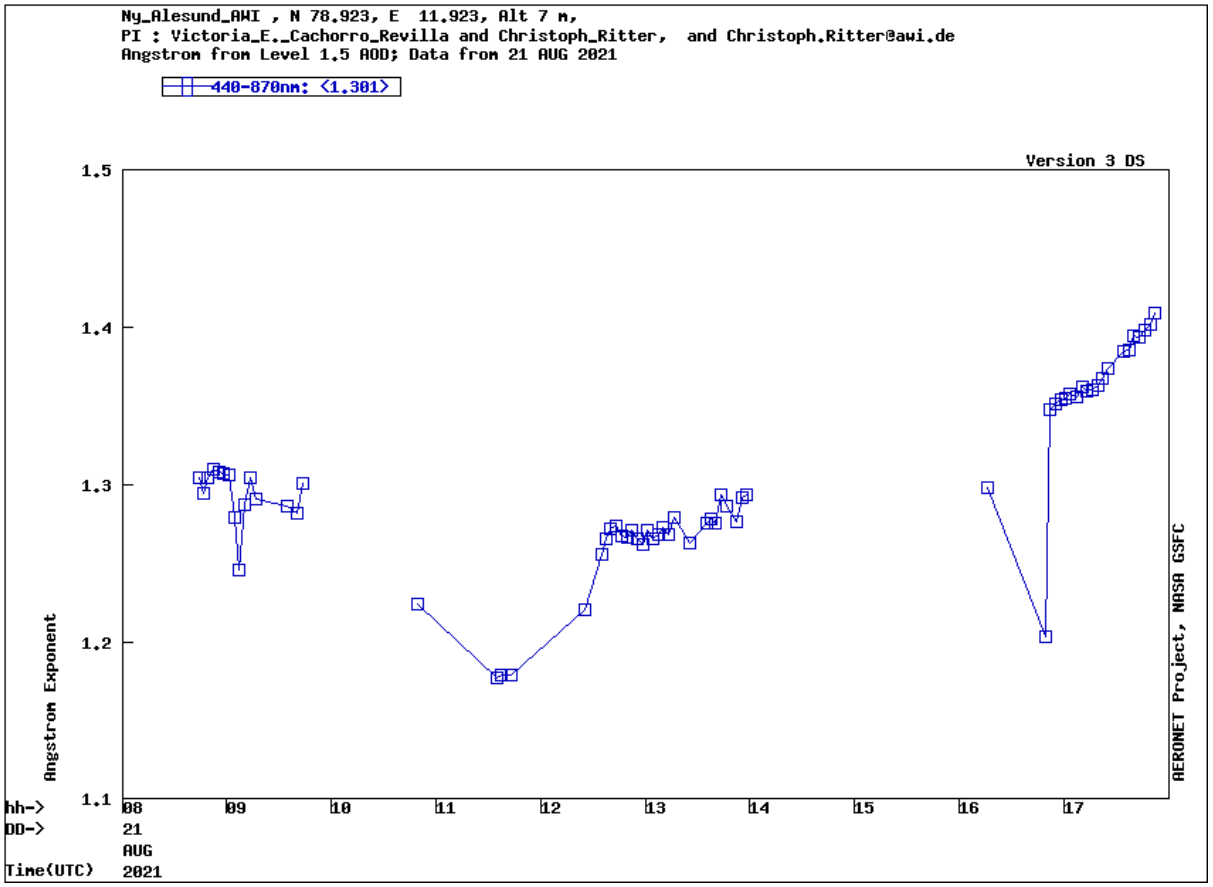


Figura 11
Evolución de los niveles de Ångstrom por horas del día a analizar.

Este día se obtienen unos valores del exponente de Ångstrom en torno a 1,301. Dicho valor se corresponde con partículas más bien finas, y se corrobora con que los valores de AOD en las longitudes de onda en la Figura 10 no están juntas en exceso, comportamiento típico de este tipo de partículas.

El siguiente paso es tomar en consideración los datos de CALIPSO:

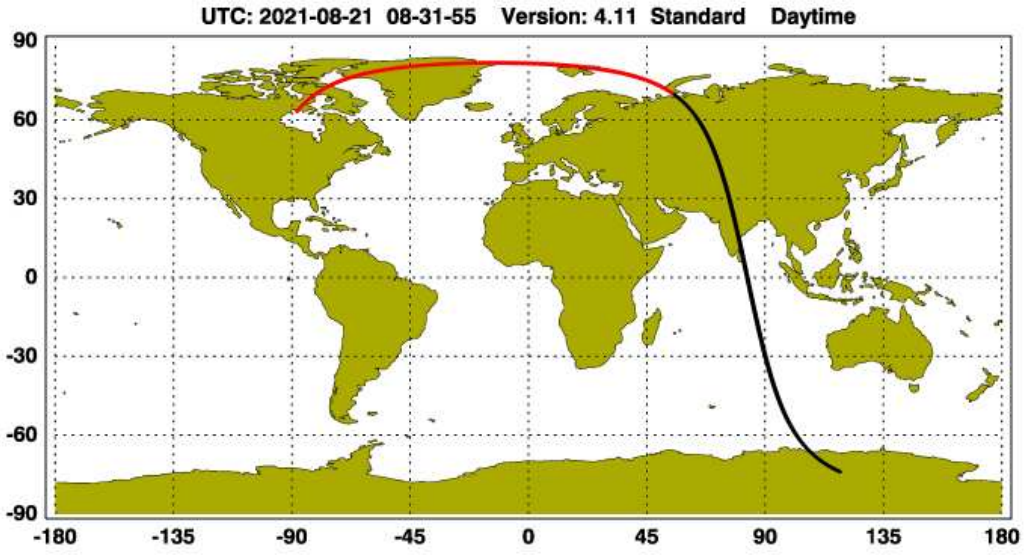


Figura 12
La línea roja se corresponde con el análisis de CALIPSO expuesto en las siguientes figuras.

En la Figura 12, el recorrido que hace CALIPSO pasa claramente sobre la estación de Nueva Alesund.

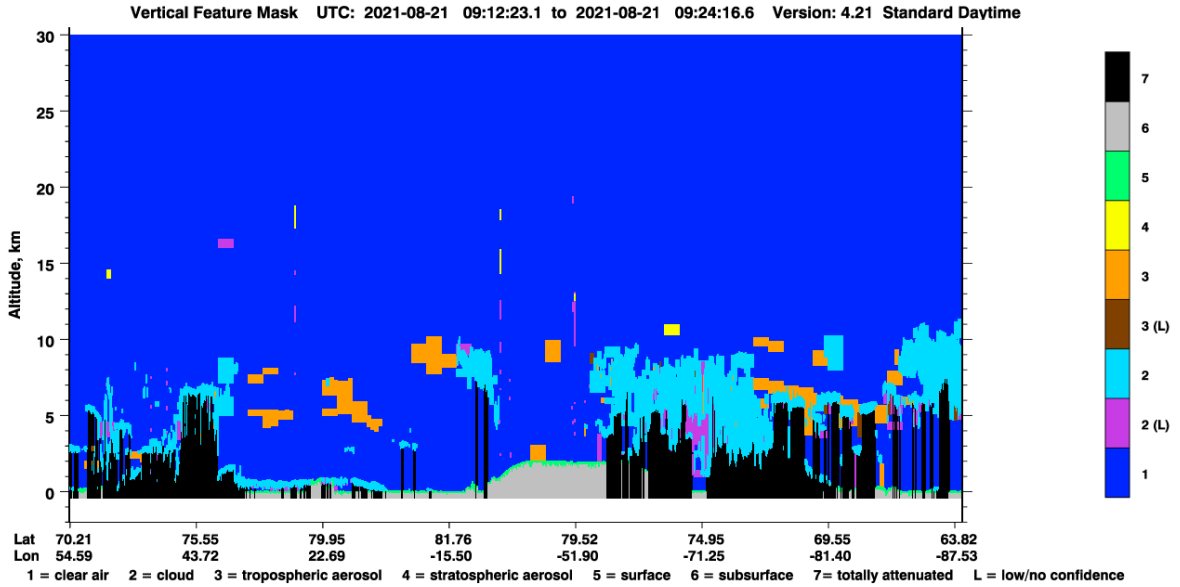


Figura 13
Disposición de la atmósfera según CALIPSO.

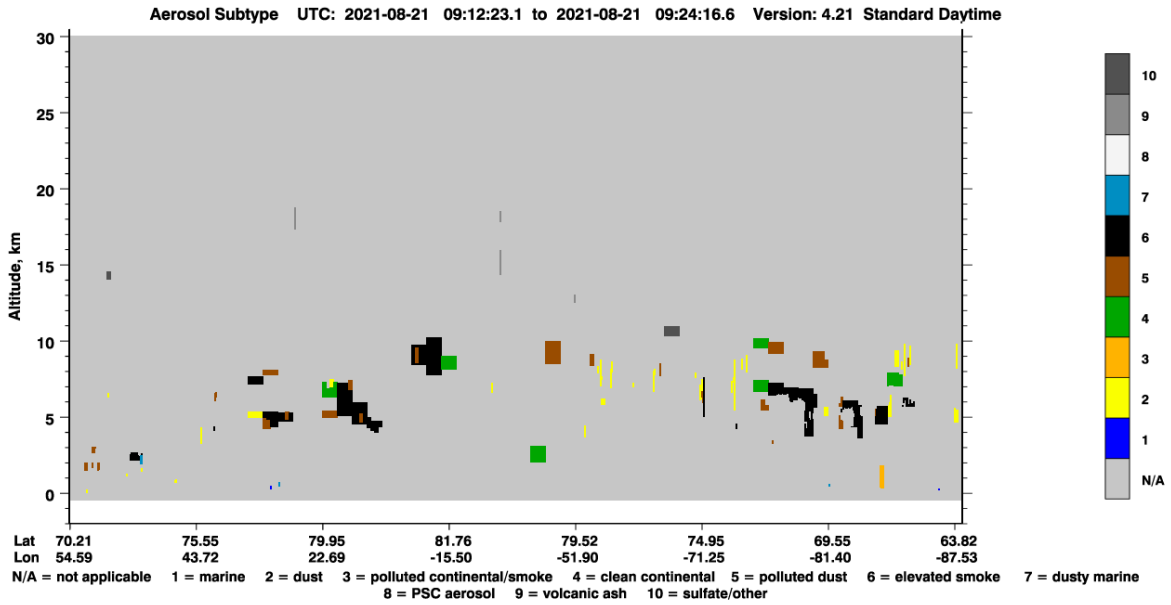


Figura 14
Tipos de aerosoles y su altitud en la atmósfera según CALIPSO.

Los datos proporcionados por CALIPSO, de las Figura 13 y 14, muestran los aerosoles presentes a diferente altitud y hacen considerar la posibilidad de que haya una capa de humo y polvo contaminado a una altitud de entre 4 y 11 kilómetros de altitud sobre la estación de medida a las 9 de la mañana.

Llegados a este punto nos decidimos a utilizar HYSPLIT para intentar dar con la procedencia de los aerosoles en las últimas 240 horas y Worldview para conocer la situación de ese entorno.

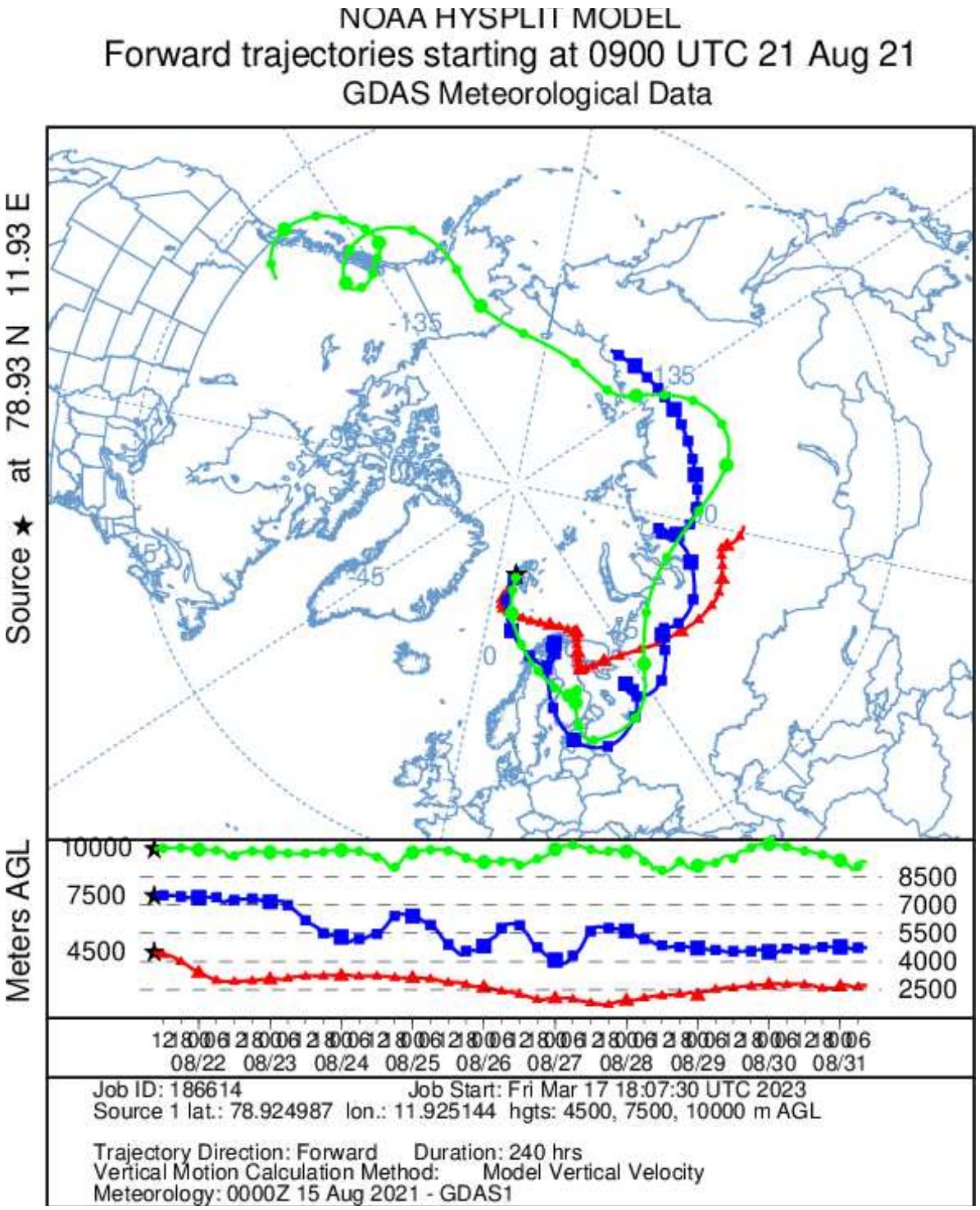


Figura 15
Trayectoria seguida por los aerosoles hasta su llegada a Nueva Alesund en una retrospección de 240 horas

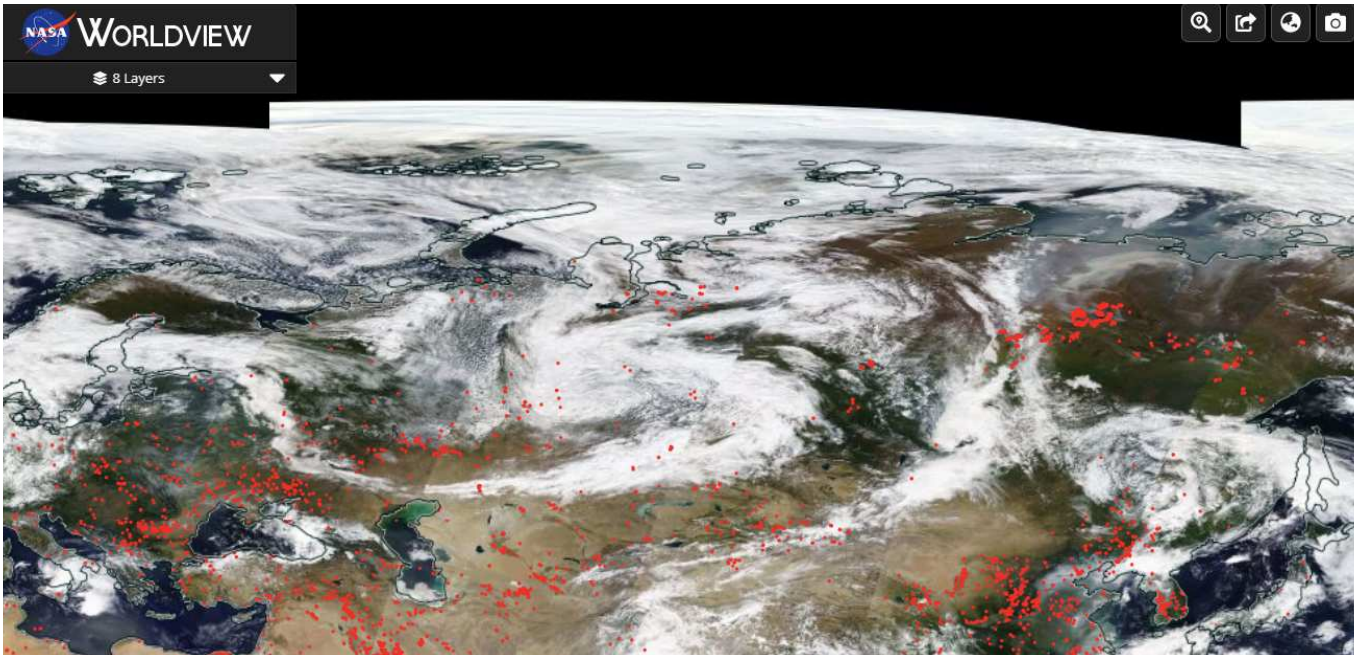


Figura 16
Potenciales eventos 240 horas antes de la detección de los aerosoles en WorldView.

Como se aprecia en la Figura 15, la zona norte rusa puede ser la principal fuente emisora de dicho evento, los colores rojo, azul y verde son las alturas 4500, 7500 y 10000 respectivamente en metros.

En la Figura 16 aparecen todos los potenciales fuegos registrados en WorldView ocurridos 240 horas antes del 21 de agosto a las 9:00. Son muchos los potenciales incendios en el norte de la República de Sajá-Yakutia, perteneciente a la Federación Rusa, la capa de 7500 metros han realizado un barrido en este tiempo desde esta zona llegando hasta Nueva Alesund, siendo captado allí por nuestros equipos.

EL PAÍS SUSCRÍBETE

Clima y Medio Ambiente

CAMBIO CLIMÁTICO · MEDIO AMBIENTE · VIDA ECO · ÁREA DE EXPERTOS · ÚLTIMAS NOTICIAS

INCENDIOS >

Arde Siberia: Rusia moviliza al ejército contra el fuego salvaje que devora ya 1,4 millones de hectáreas en Yakutia

Alimentados por la ola de calor, más de 300 fuegos permanecen activos en la extensa región, asentada sobre el permafrost, la centenaria capa helada del subsuelo

Figura 17

Noticia de El País confirmando la presencia de fuegos en el lugar y fecha analizados.

R. Sahuquillo, María. (2021, julio 17). Arde Siberia: Rusia moviliza al ejército contra el fuego salvaje que devora ya 1,4 millones de hectáreas en Yakutia. El País. https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-07-17/arde-siberia-rusia-moviliza-al-ejercito-para-extinguir-el-fuego-salvaje-que-devora-ya-14-millones-de-hectareas.html

Gracias a la hemeroteca de varios medios de comunicación podemos verificar la presencia de fuegos destacables en esa zona en el momento analizado, La Figura 17 es una captura de pantalla de El País en su edición digital.

9 de abril de 2022

A continuación se exponen en las Figuras 18-20: AOD por meses de 2022, AOD por días de abril de 2022 y AOD por horas del 9 de abril de 2022 sucesivamente.

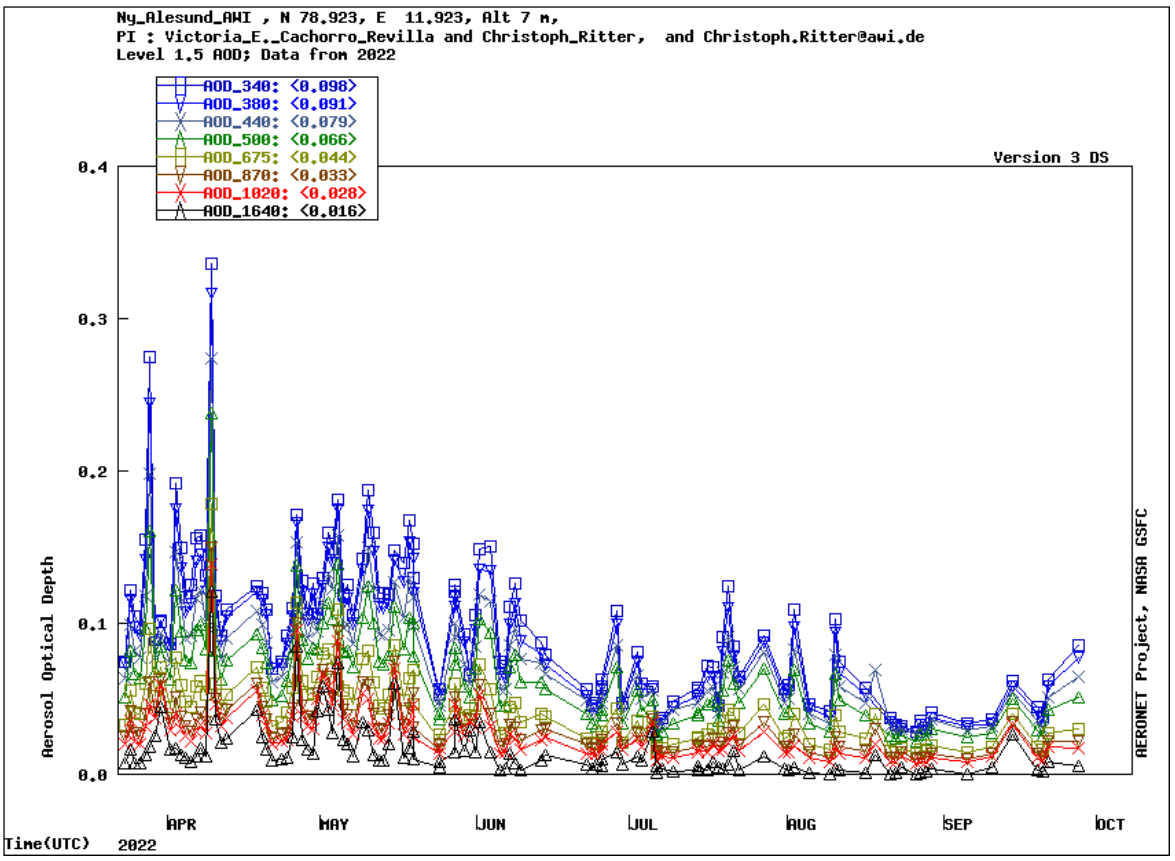


Figura 18
Evolución de los niveles de AOD en los meses de 2022.

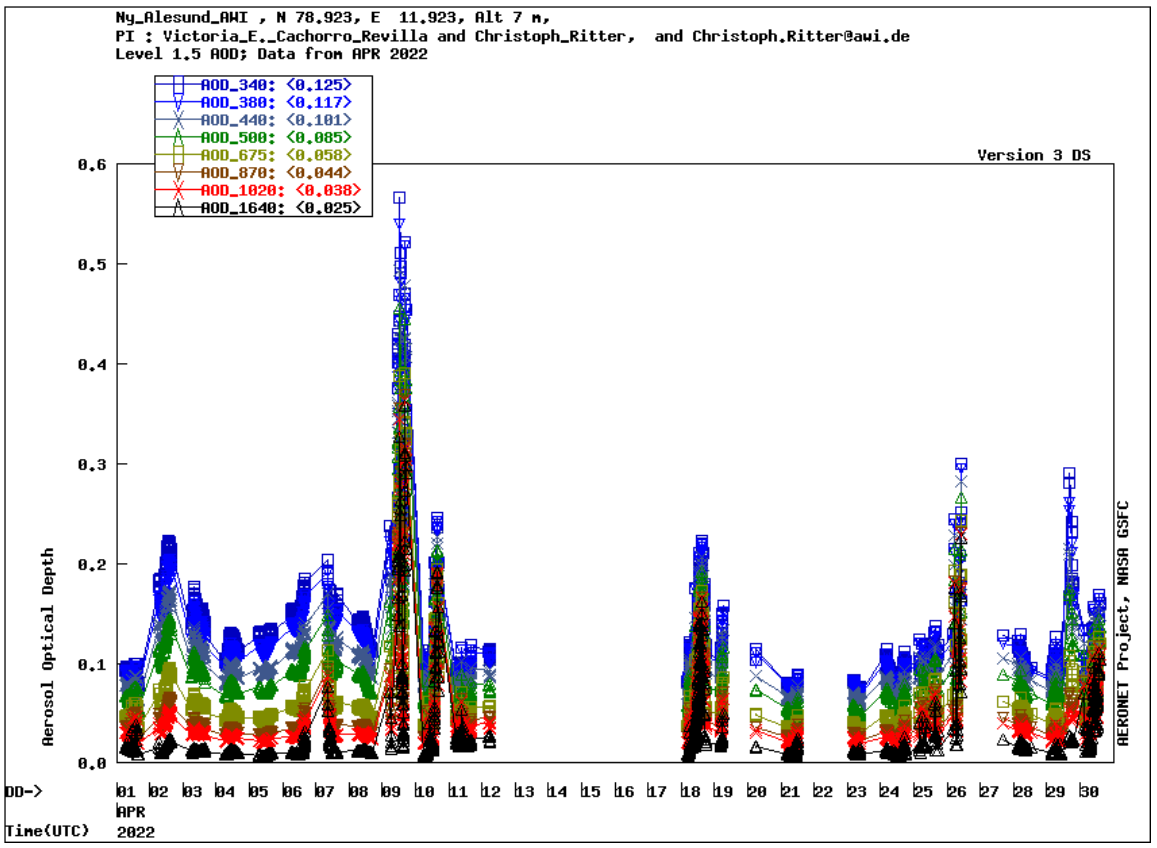


Figura 19
Evolución de los niveles de AOD por días de abril de 2022.

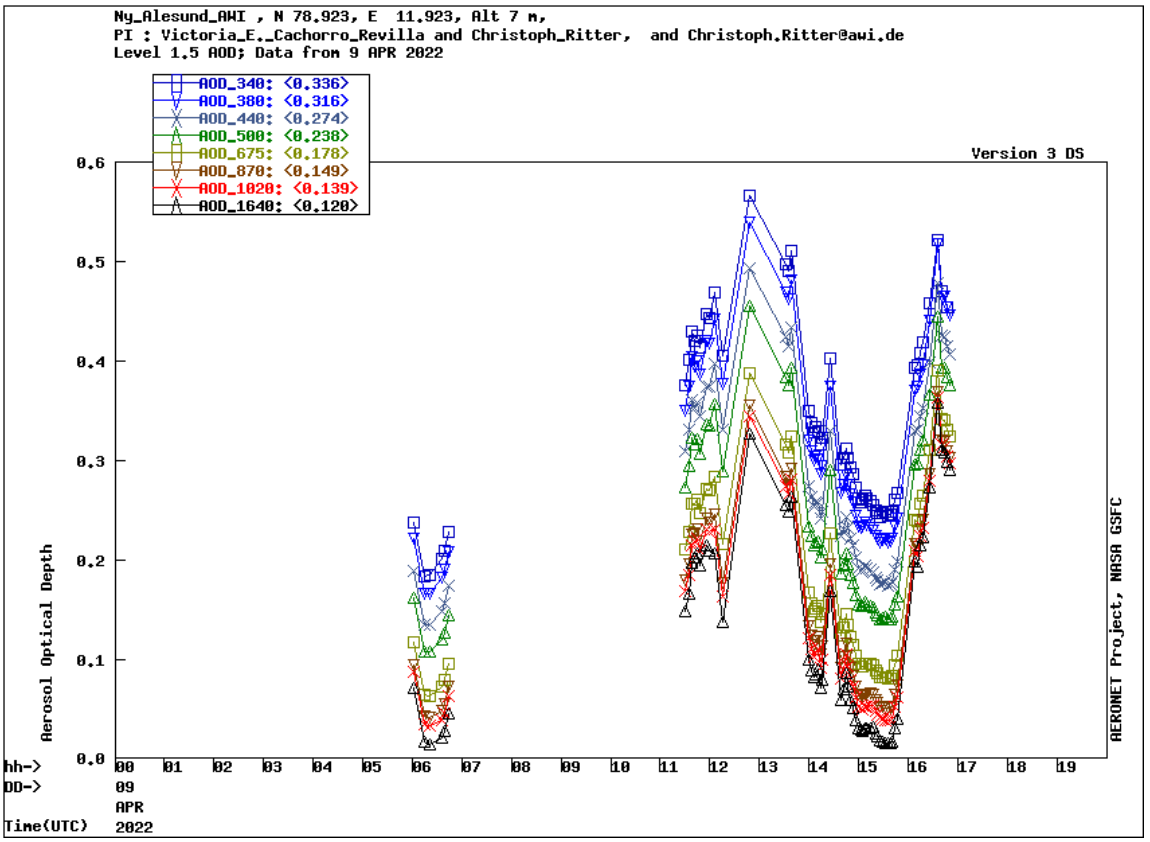


Figura 20
Evolución de los niveles de AOD por horas del día a analizar.

Durante el día 9 a las 15:00 horas se alcanzan valores de AOD a 440 nm de 0.18, por lo tanto este es momento en el que se va a realizar el análisis.

La siguiente Figura (21) muestra el exponente de Ångström del día a analizar.

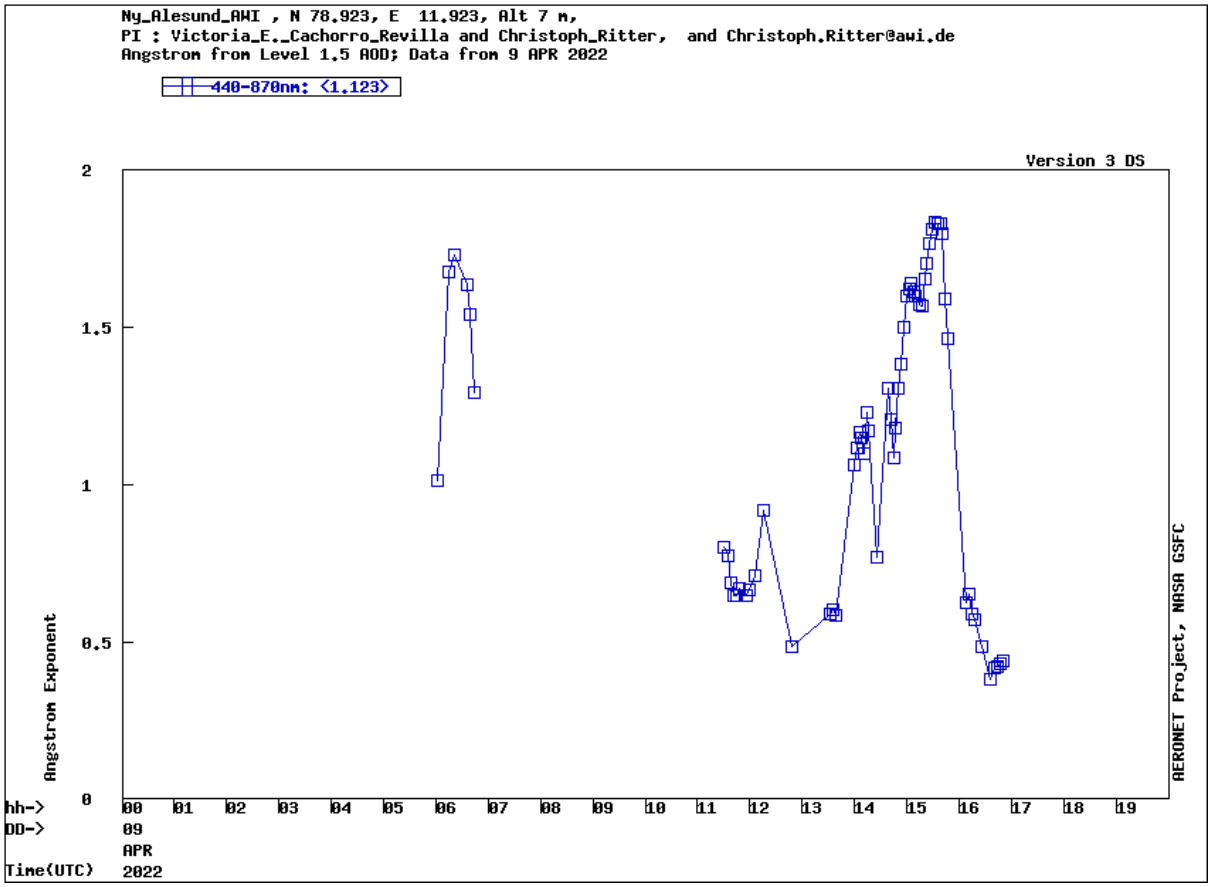


Figura 21
Evolución de los niveles de Ångstrom por horas del día a analizar.

Este día se obtienen unos valores del exponente de Ångstrom en torno a las 15:00 por encima de 1.5. Estas partículas son finas debido al alto nivel del exponente, esto se corrobora con que los valores de AOD en las longitudes de onda en la Figura 21 se encuentran muy lejanas, comportamiento típico de este tipo de partículas.

El siguiente paso es tomar en consideración los datos de CALIPSO:

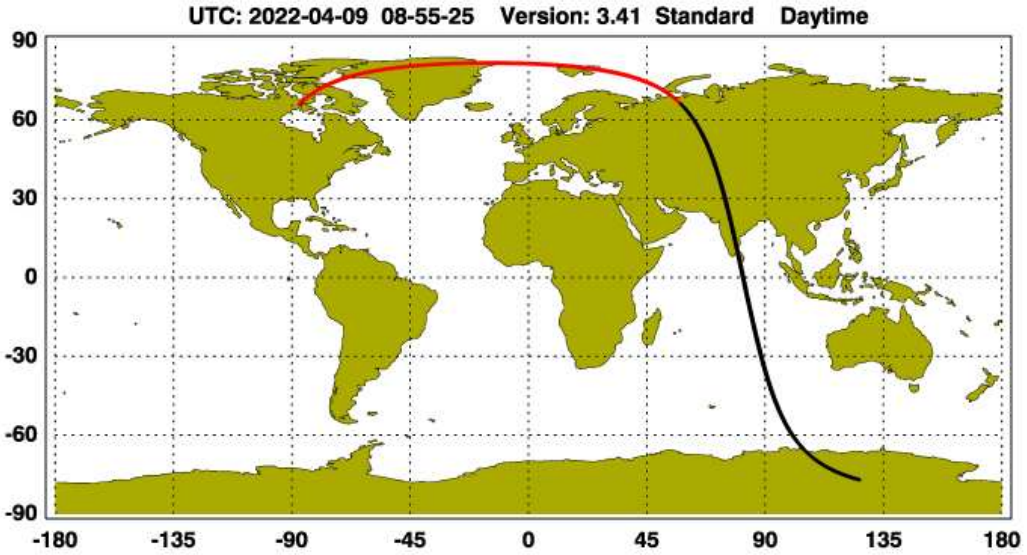


Figura 22
La línea roja se corresponde con el análisis de CALIPSO expuesto en las siguientes figuras.

En la Figura 22 el recorrido que hace CALIPSO pasa claramente sobre la estación de Nueva Alesund.

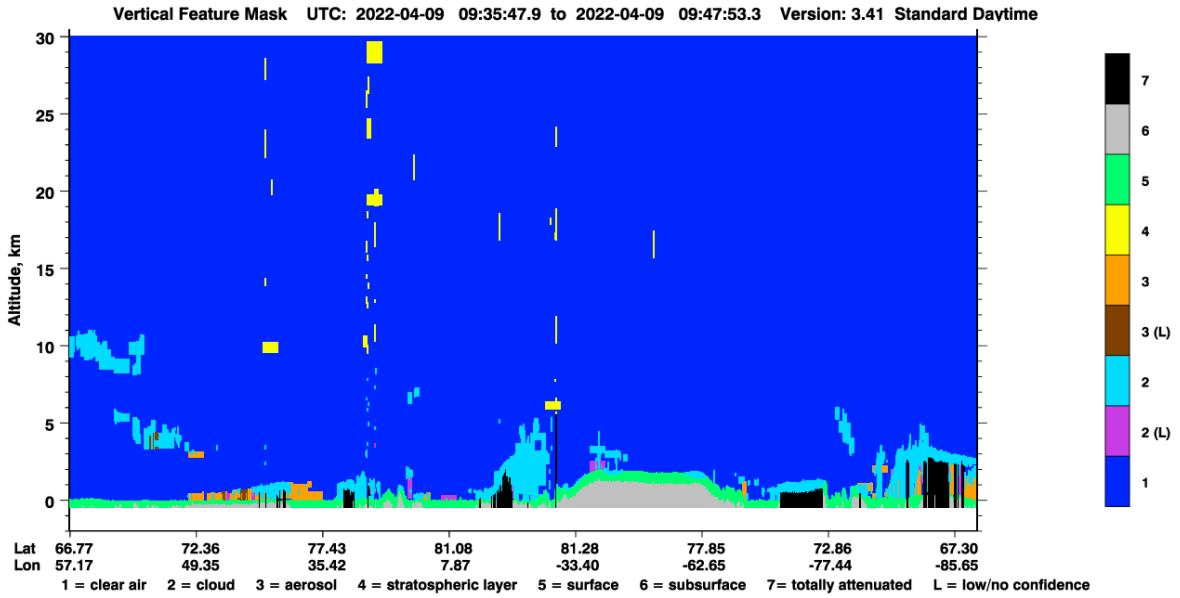


Figura 23
Disposición de la atmósfera según CALIPSO.

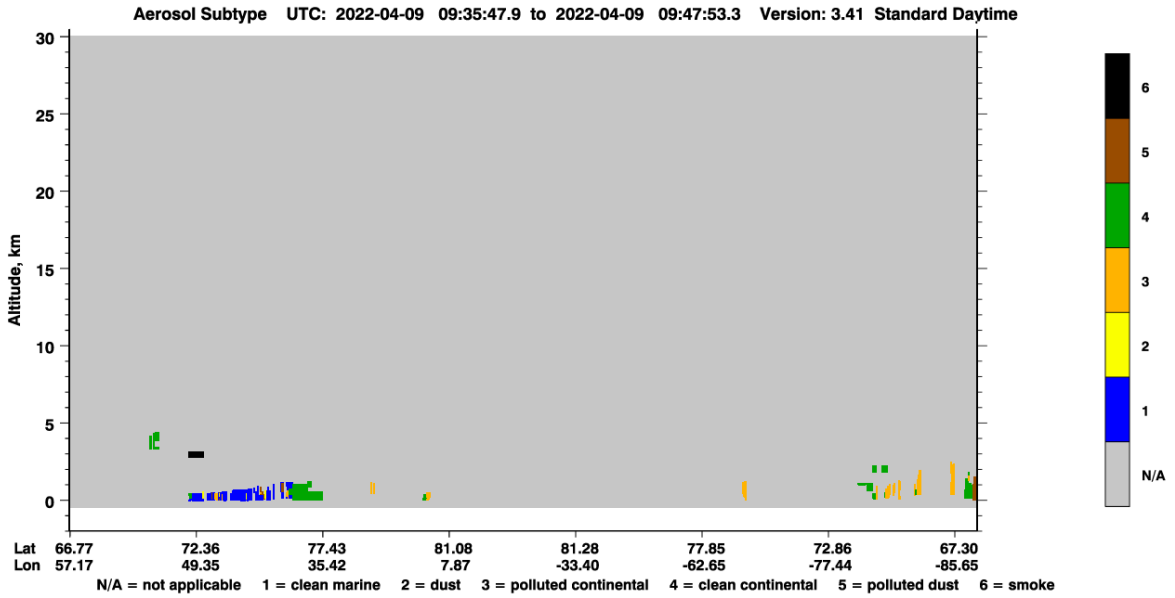


Figura 24
Tipos de aerosoles y su altitud en la atmósfera según CALIPSO.

Los datos proporcionados por CALIPSO, de las Figura 23 24, muestran los aerosoles presentes a diferente altitud y, no se presenta ningún elevado porcentaje de aerosoles sobre la estación de medida a las 9:40 de la mañana, cabe pensar en la existencia de nueves.

A pesar de no haber hallado ningún tipo de polvo o humo claramente localizado a ninguna altitud utilizaremos HYSPLIT a unas altitudes medias de 2000, 5000 y 10000 metros las últimas 240 horas, lo haremos en modo ensamble para dilucidar posibles procedencias del aerosol detectado en AERONET.

Después gracias a Worldview veremos la situación del entorno de procedencia, aunque la no presencia de polvo complica una hipotética procedencia de incendios.

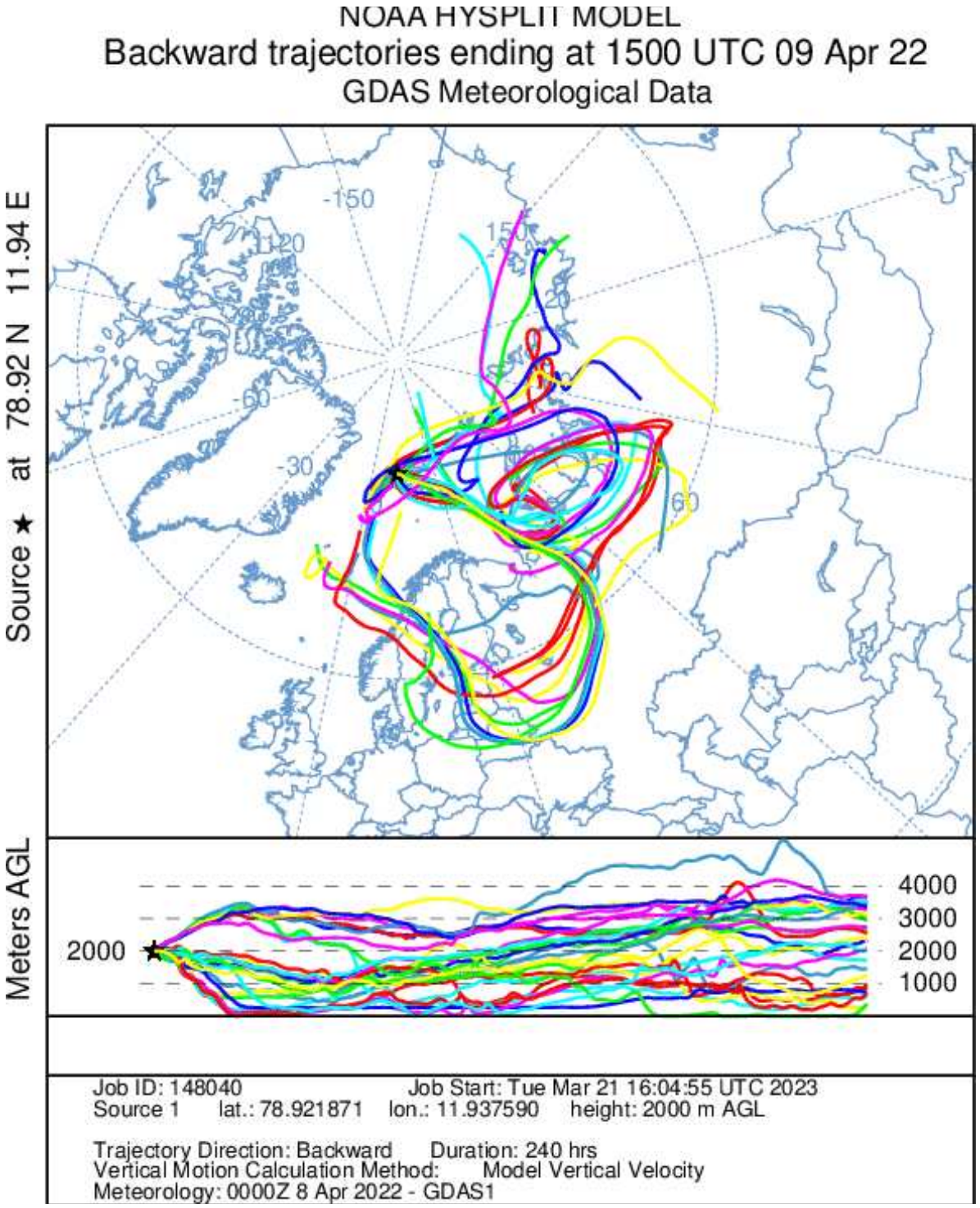


Figura 25

Trayectoria seguida por los aerosoles a 2000 metros hasta su llegada a Nueva Alesund en una retrospección de 240 horas.

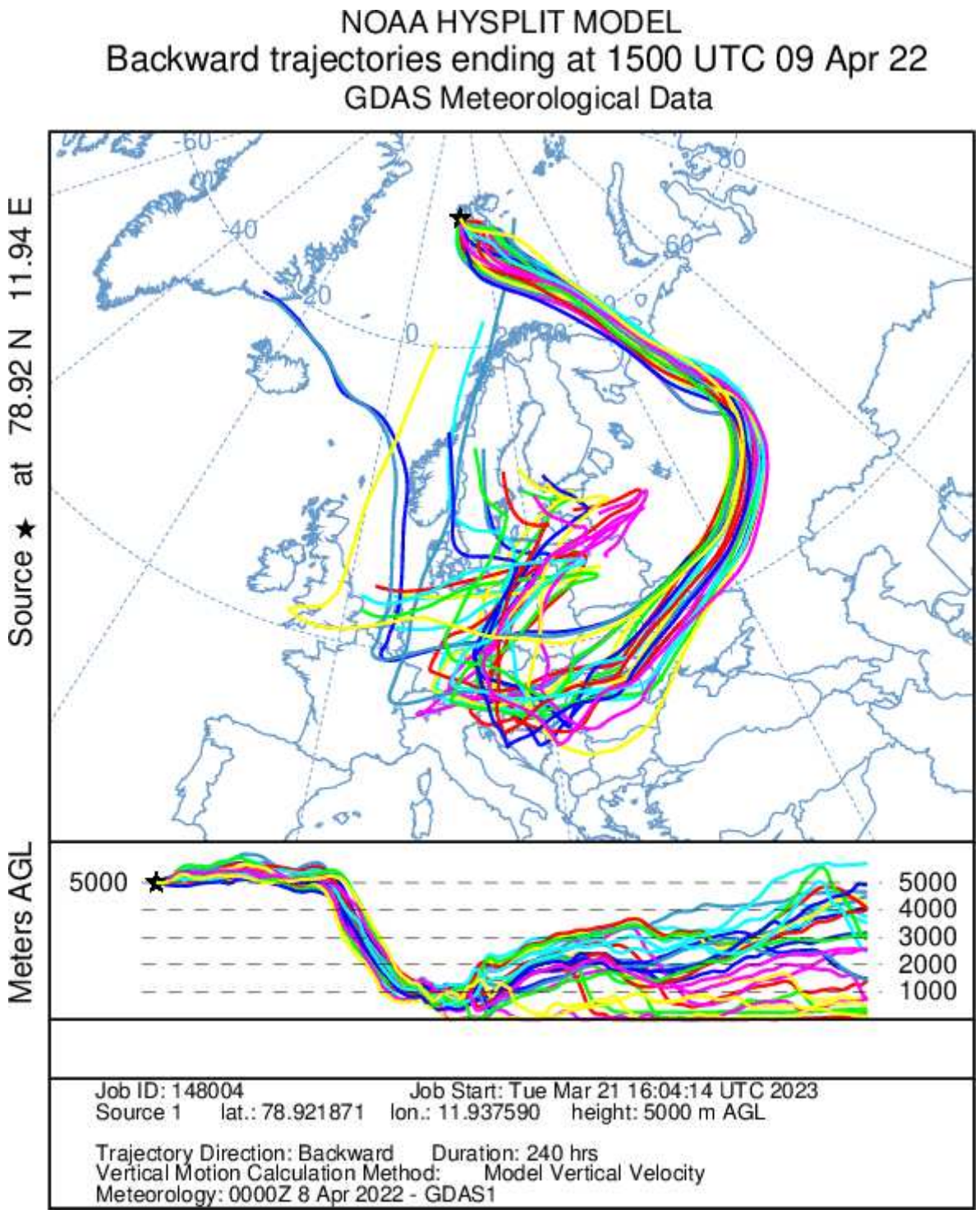


Figura 26

Trayectoria seguida por los aerosoles a 5000 metros hasta su llegada a Nueva Alesund en una retrospección de 240 horas.

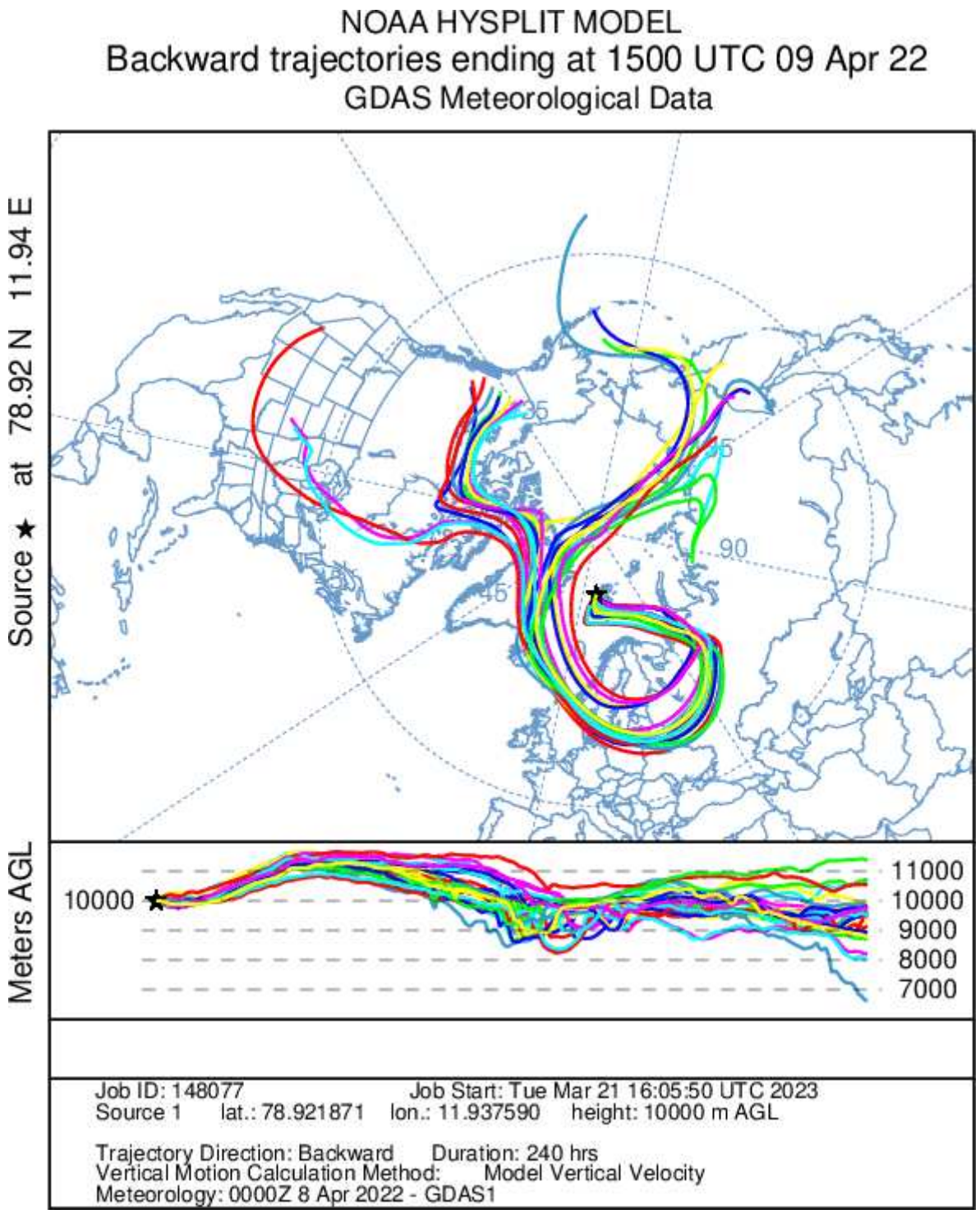


Figura 27

Trayectoria seguida por los aerosoles a 10000 metros hasta su llegada a Nueva Alesund en una retrospección de 240 horas.

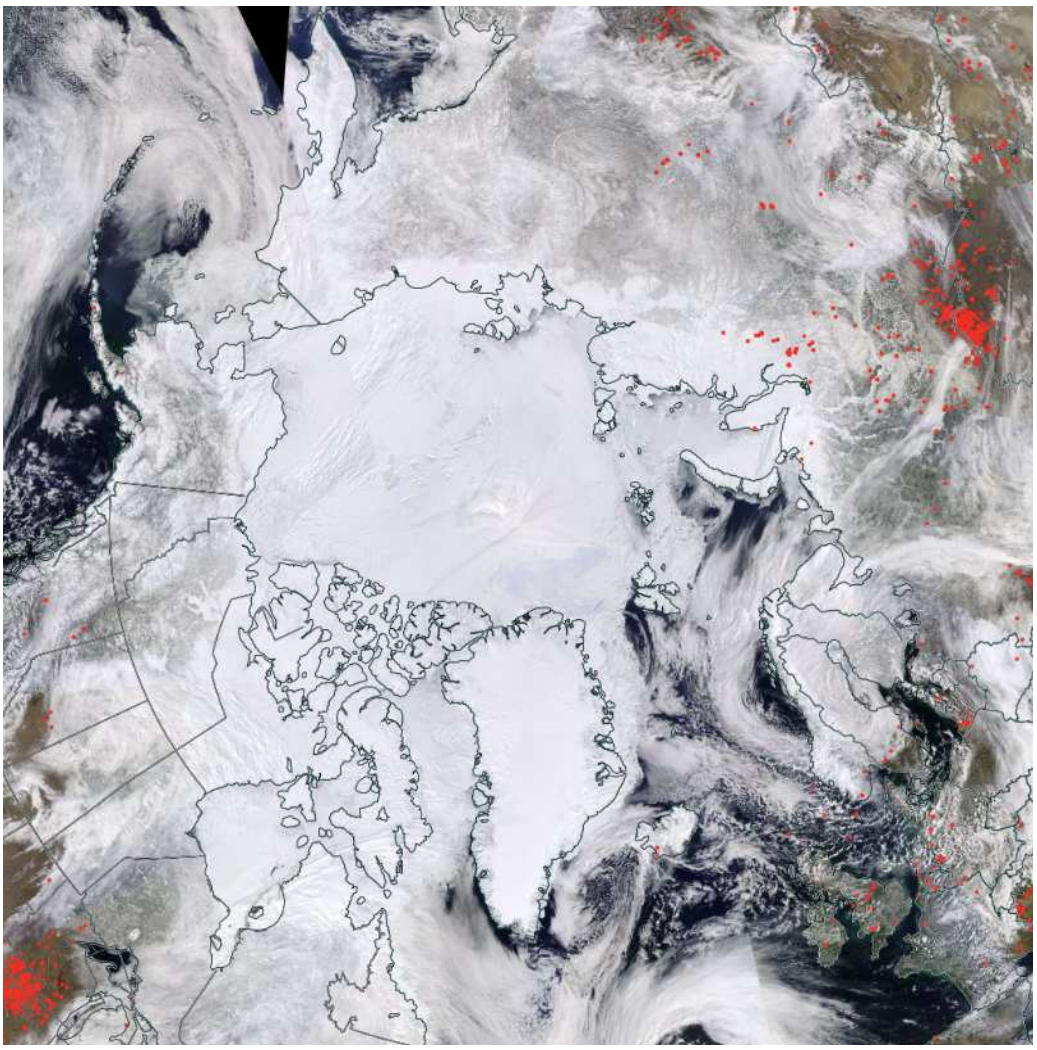


Figura 28
Potenciales eventos en el momento de la detección de los aerosoles en WorldView.

Figura 29
Estado sinóptico de la atmósfera en el momento de la detección de los aerosoles en WorldView.

Como se aprecia en las Figuras 25-27, son las zonas norte rusa y sur canadiense respectivamente según sube la altitud (aunque en mayor grado la primera) los potenciales focos emisores, esta vez ante la ausencia de altitudes estimatorias los datos están en modo ensamble y apreciándose mejor la dispersión.

En la Figura 28 aparecen todos los potenciales fuegos registrados en WorldView ocurridos 240 horas antes del 9 de abril a las 9:00. Son muchos los potenciales incendios presentes en el distrito autónomo de Janti-Mansi-Yugrá, perteneciente a la Federación Rusa y entre los estados de Iowa, Wisconsin y aledaños pertenecientes a los Estados Unidos de América.

Sin embargo, como mediante CALIPSO no hemos podido verificar ni descartar la existencia de polvo o humo en la zona no podemos verificar estos focos como emisores de aerosol detectados.

La falta de información en HYSPLIT hace que en este caso no sea tan sencillo como en el anterior dilucidar el origen.

Como se aprecia en la Figura 29 la situación atmosférica en estas fechas era un tanto inestable con un borrasca sobre la mitad norte del océano atlántico y otro frente meteorológico en el extremo norte de Rusia. Estos eventos propios de estas fechas pueden estar detrás de la problemática detección de HYSPLIT, provocando una fugaz permanencia de los aerosoles en un emplazamiento.

Los datos de AERONET son lo suficientemente concluyentes como para verificar una anómala presencia de aerosoles el 9 de abril de 2022 que parece no ser polvo y por ende pudiera ser procedente de una quema de biomasa como un incendio, sin embargo no disponemos de la suficiente información y herramientas para descartar que sea polvo ni para apuntalar una teoría sobre su origen.

7. CONCLUSIONES

Como conclusión, después de haber analizado los tres últimos años disponibles en la base de datos de la red de AERONET aportados por la estación de Nueva Alesund; he encontrado variedad de eventos diferentes y de elevada importancia para el Polo Norte.
Entre ellos, he destacado en este trabajo los dos que me han resultado más característicos. Estos presentaban un espesor óptico de aerosoles muy alto que había viajado miles de kilómetros a varios centenares de metros de altura desde el norte de Rusia. Allí, la quema de biomasa es causada por devastadores incendios forestales.

Tras el análisis de los eventos, los incendios forestales destacan como el origen de la emisión de buena parte de los aerosoles atmosféricos que viajan hasta el Polo Norte y causan gran parte de su contaminación atmosférica.

Cabe destacar las problemáticas surgidas durante la investigación que han complicado la selección y estudio de potenciales eventos. La zona de emplazamiento del fotómetro, en el asentamiento humano permanente más al norte del mundo, se salda con una clara deficiencia de datos registrados mediante fotometría solar, esto es consecuencia directa de que durante los casi 6 meses de invierno polar no es posible ver el Sol en esta zona. Esto se ha sumado al hecho de unos satélites que están a veces faltos de cobertura o necesitados de continuo mantenimiento.

Durante la realización de este trabajo he adquirido un alto grado de conocimiento sobre los aerosoles, su transporte por las corrientes de la atmósfera y el impacto que ejercen sobre esta zona polar normalmente ya lejana del lugar donde se ha provocado el evento emisor de aerosoles. Me he sensibilizado con la gran importancia del equilibrio de la atmósfera, especialmente en los polos del planeta.

Los conocimientos que he logrado gracias a este trabajo me han sido de gran utilidad para profundizar en el conocimiento físico-científico. Aumentando además mi receptividad, sensibilidad, y por qué negarlo, también preocupación sobre una problemática de máxima actualidad y clave para entender el mundo hoy. Un problema del que tenemos mucha responsabilidad y cuya eco afecta con crudeza a la existencia de nuestro planeta tal y como lo conocemos y sus distintos pobladores.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Herramientas enlazadas en el apartado n.º 3: INSTRUMENTACIÓN (AERONET, CALIPSO, HYSPLIT y WORLDVIEW)

2. Berjón, A., Durán, P., Sorribas, M., Martín, M. J., Margarida, R., Herrero, P. (s/f). Propiedades ópticas de los aerosoles atmosféricos. Caracterización del área del Golfo de Cádiz. Uva.es. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de http://goa.uva.es/wp-content/uploads/2021/03/VERGAZ-Ricardo.pdf

3. Curran, K., Crumlish, J., & Fisher, G. (2012). OpenStreetMap. International journal of interactive communication systems and technologies, 2(1), 69–78. https://doi.org/10.4018/ijicst.2012010105

4. Díaz, J. V. (2015, febrero 21). La Red AERONET. UNIVERSO Blog. https://josevicentediaz.com/teledeteccion/la-red-aeronet/

5. GLOBE NASA Tutoría Worldview. Nasa.gov. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de https://scool.larc.nasa.gov/GLOBE/Spanish/Worldview_Tutorial-es.html

6. Guilabert, P. M. (s/f). CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTICOS DEL AEROSOL ATMOSFÉRICO EN UN ENCLAVE DE ALTA MONTAÑA. Umh.es. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de http://dspace.umh.es/bitstream/11000/4295/1/TFG%20%20Mas%20Guilabert%2C%20Pablo.pdf

7. Merino, C. V. (s/f). Identificación de tipos de aerosol mediante medidas fotométricas. Aplicación al transporte de aerosol sahariano hasta el Caribe. Uva.es. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/46441/TESIS-1808-210427.pdf

8. Modelo HYSPLIT para Trayectorias de Masas de Aire. (s/f). SERVIR. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de https://www.servir.net/haiti-earthquake-2010/69-smog-blog-help-files/393-modelo-hysplit-para-trayectorias-de-masas-de-aire.html

9. Universidad de Murcia. (s/f). TEMA 3. LA ATMÓSFERA. Www.um.es. Recuperado el 14 de marzo de 2023, de https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_3_.pdf

10. Wong, M. (2021, diciembre 23). Worldview snapshots FAQ. Earthdata. https://www.earthdata.nasa.gov/faq/worldview-snapshots-faq

11. GOA-UVa viaja hasta el Polo Norte para instalar un fotómetro - Grupo de Óptica Atmosférica. (s.f.). Grupo de Óptica Atmosférica. http://goa.uva.es/goa-uva-viaja-hasta-el-polo-norte-para-instalar-un-fotometro/

12. Villar Martín, B. (2020). Transporte de la contaminación hacia el Polo Norte. UVaDOC Principal. http://uvadoc.uva.es/handle/10324/44456

13. R. Sahuquillo, María. (2021, julio 17). Arde Siberia: Rusia moviliza al ejército contra el fuego salvaje que devora ya 1,4 millones de hectáreas en Yakutia. El País. https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-07-17/arde-siberia-rusia-moviliza-al-ejercito-para-extinguir-el-fuego-salvaje-que-devora-ya-14-millones-de-hectareas.html

14. Esteban1216. (2018, junio 12). File:Exosfera.Jpg. Wikimedia.org. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exosfera.jpg

15. Aeronet. Fotómetro de Nueva Alesund. aeronet.gsfc.nasa.gov https://aeronet.gsfc.nasa.gov/newsitephotos/nyawi1.jpg https://aeronet.gsfc.nasa.gov/newsitephotos/nyawi2.jpg

16. Departamento de Transporte de Estados Unidos - Administración Federal de Carreteras. (2006, julio 14). Fly Ash FHWA punto gov.jpg Wikimedia.org. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fly_Ash_FHWA_dot_gov.jpg

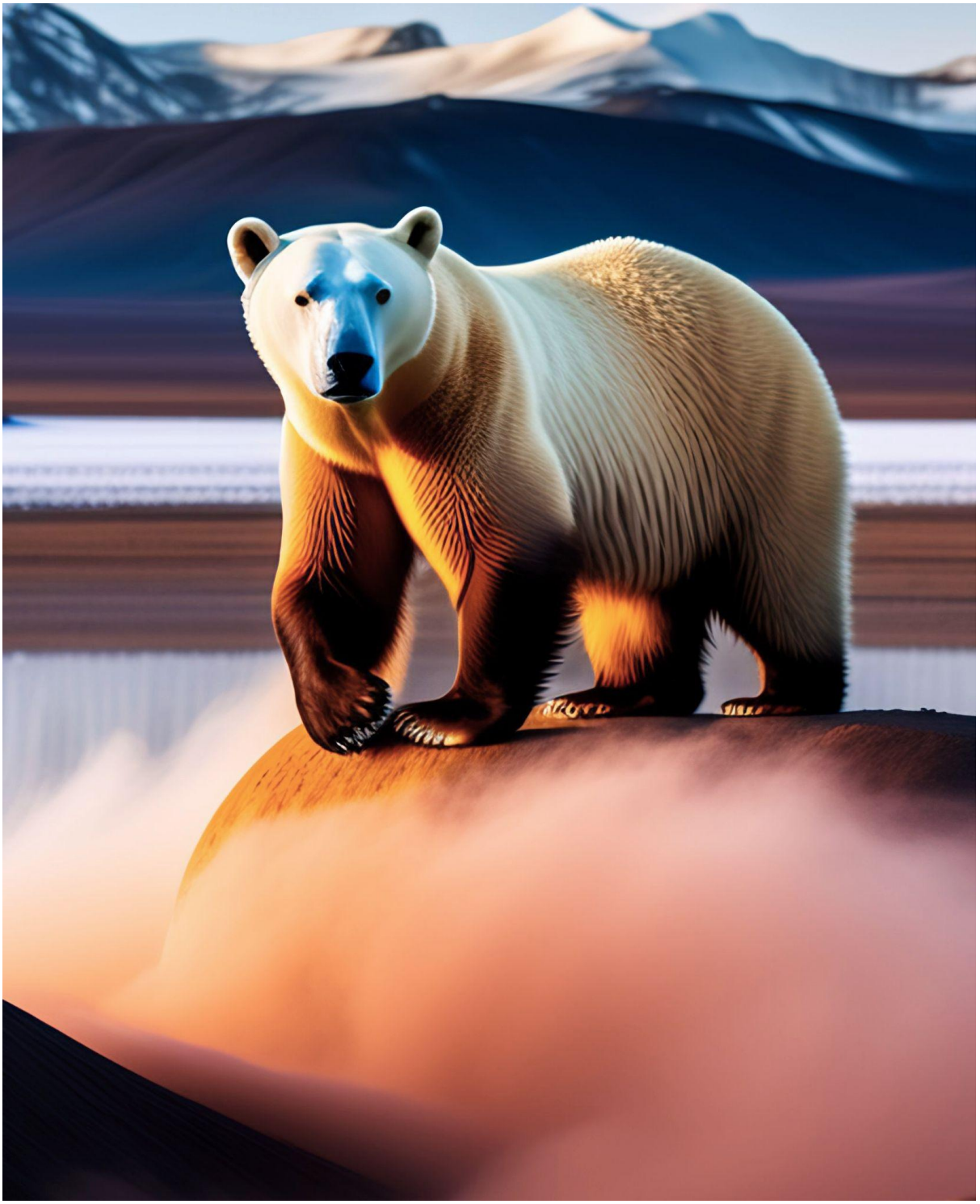


Figura 30
En peligro.